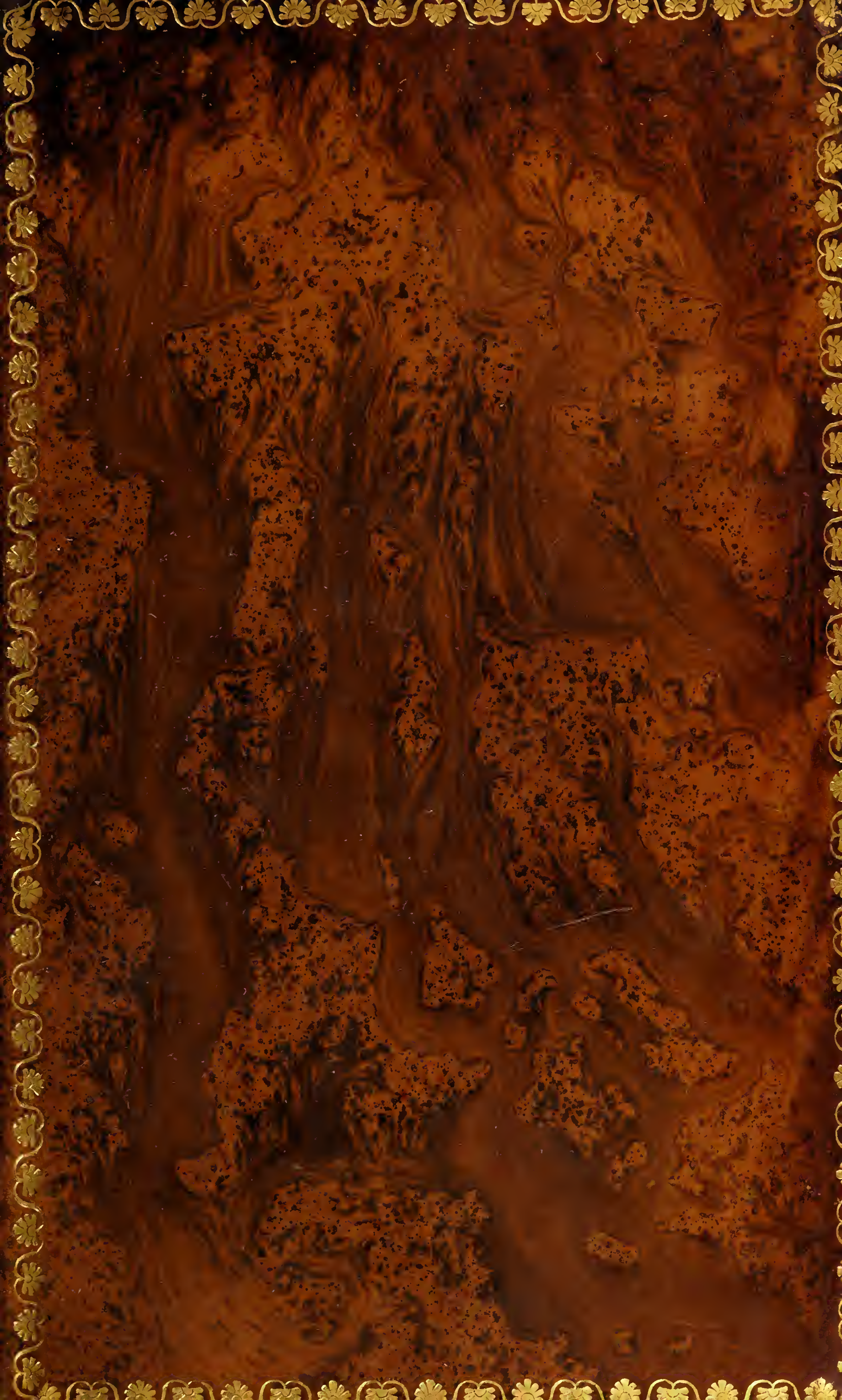
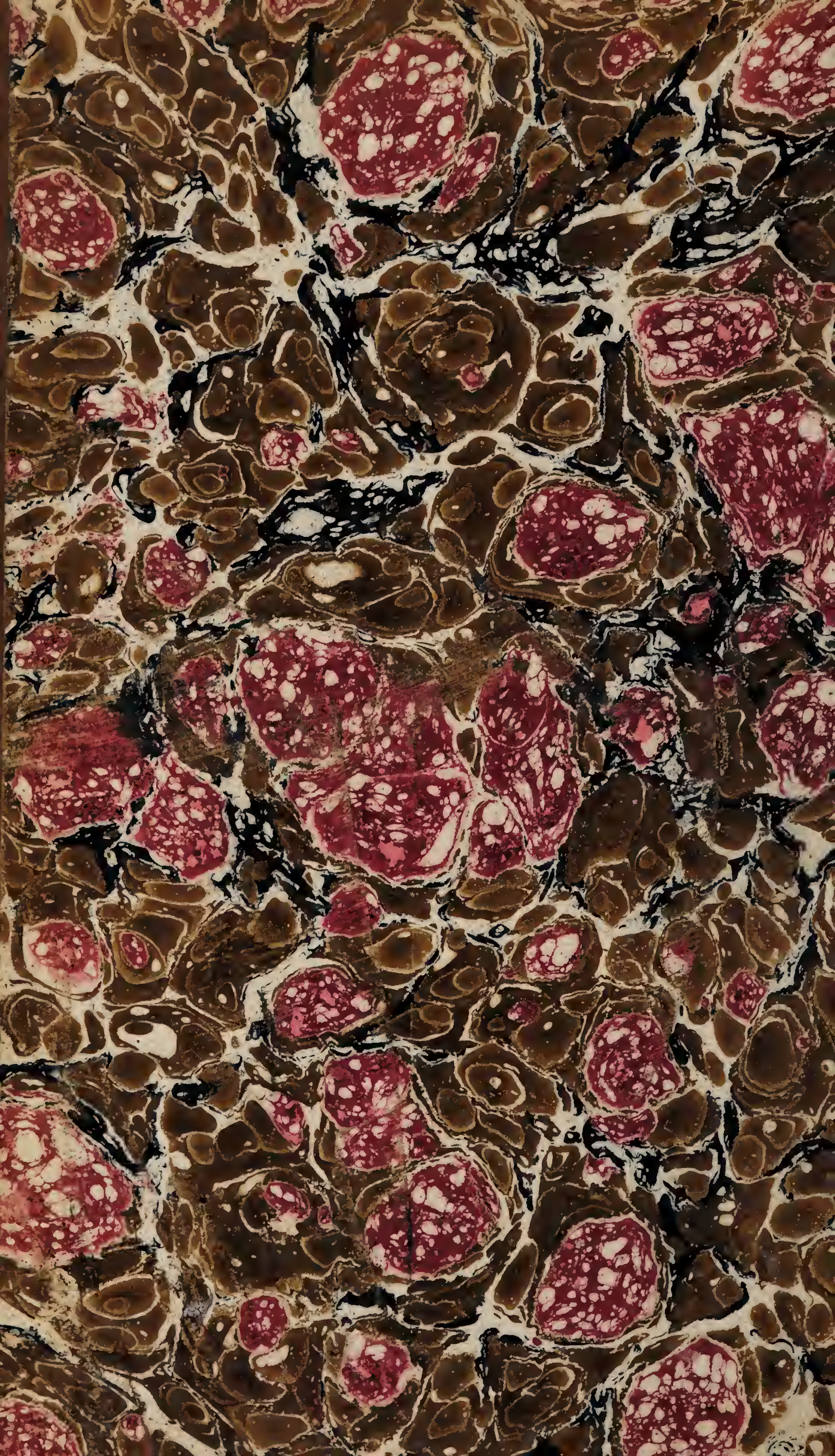
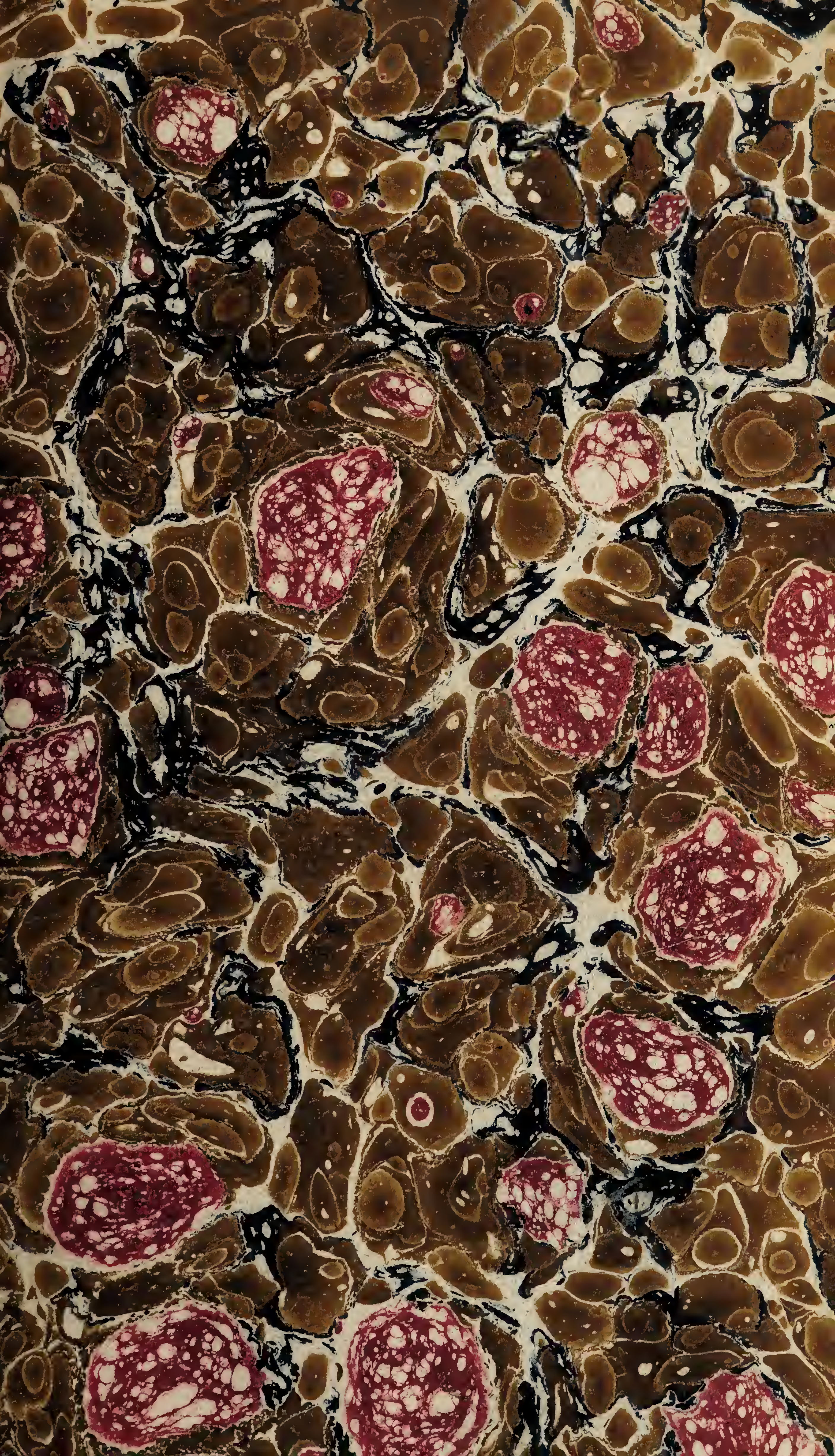






PHYSIQUE

MÉCANIQUE,

PAR E. G. FISCHER,

MEMBRE HONORAIRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE BERLIN, PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES ET DE PHYSIQUE DANS UN DES COLLÉGES DE LA MÊME VILLE, PROFESSEUR DE PHYSIQUE A L'INSTITUT DES MINES DE PRUSSE, ET DE MATHÉMATIQUES A L'ÉCOLE DU COMMERCE, ETC.;

TRADUITE DE L'ALLEMAND;

AVEC DES NOTES,

ET UN APPENDICE SUR LES ANNEAUX COLORÉS, SUR LA DOUBLE RÉFRACTION ET SUR LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE;

PAR M. BIOT,

MEMBRE DE L'INSTITUT DE FRANCE.

CINQUIÈME ÉDITION,

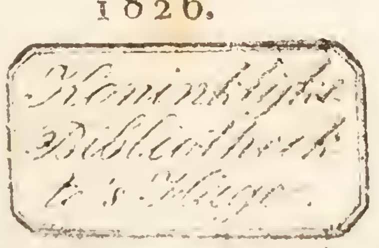
REVUE, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE.

À GAND,

CHEZ HYP.te VANDEKERCKHOVE IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

RUE COURTE-DES-CHEVALIERS, N.° 10.

1826.







AVIS DE L'ÉDITEUR.

Une personne qui cultive les Sciences Physiques et Mathématiques, et à laquelle nous avions fait connaître notre intention de réimprimer la *Physique mécanique de Fischer*, avait bien voulu se charger de la révision des épreuves de la quatrième édition et nous promettre quelques additions que nous avions accueillies avec reconnaissance : ces additions n'ont pas moins contribué que les notes de M. *Biot*, au succès de l'ouvrage, et nous leur devons en très-grande partie l'accueil favorable qu'on a fait à ce livre. Le même savant a bien voulu donner des soins tout particuliers à cette cinquième édition : outre plusieurs notes et additions nouvelles, indiquées par des guillemets, on y trouvera un supplément fort étendu et qui seul recommanderait l'édition actuelle. Les planches ont été refaites sur un autre format, et la table des matières, par ordre alphabétique, a été complétée.

TABLE
DES CHAPITRES.

PREMIÈRE SECTION.
DES CORPS EN GÉNÉRAL.

DEUXIÈME SECTION.
DES CORPS SOLIDES.

TROISIÈME SECTION.

DE LA CHALEUR.

QUATRIÈME SECTION.

DES CORPS LIQUIDES.

CINQUIÈME SECTION.

DES CORPS AÉRIFORMES.

SIXIÈME SECTION.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

SEPTIÈME SECTION.

DU MAGNÉTISME.

HUITIÈME SECTION.

DE LA LUMIÈRE.

ADDITIONS A L'OPTIQUE.

FIN DE LA TABLE DES CHAPITRES.

A MONSIEUR

BERTHOLLET,

MEMBRE DE L'INSTITUT. (1)

Mon cher et illustre Confrère,

En assistant aux conversations intéressantes et instructives dont on jouit dans votre charmante retraite d'Arcueil, je vous ai entendu souvent, ainsi que M. *Laplace*, regretter que la Physique fût peu cultivée en France, tandis que les autres sciences y jettent un très-grand éclat (2). Vous cherchiez les causes de ce désavantage dans l'espèce d'isolement où l'on semble avoir voulu placer la Physique, relativement aux autres branches des connaissances positives; et, tous deux, vous vous étonniez qu'on eut tenté de la séparer de la Géométrie et de la Chimie, deux soutiens sans lesquels elle ne saurait faire un pas.

(1) Les sciences ont perdu ce célèbre chimiste.

(2) Depuis l'époque où cette lettre fut écrite (au milieu de 1806), un grand nombre de découvertes de Physique ont été faites en France. Notre richesse en ce genre s'accroît tous les jours, et tout présage qu'elle continuera de s'étendre avec rapidité. Néanmoins j'ai laissé subsister les expressions dont j'avais dû me servir lors de la première édition de cet Ouvrage, pour mieux montrer tout ce que nous avons gagné depuis.

Ce n'est point, cependant, que les exemples manquent pour prouver combien l'alliance de ces sciences est utile; et l'on pourrait en trouver un grand nombre, même parmi nos compatriotes. Notre célèbre *Bourguer* n'a pas été moins bon physicien que bon astronome. C'est aussi à la connaissance des méthodes géométriques, que *Borda* a dû l'exactitude qu'il a mise dans ses recherches de Physique; c'est à elles que M. *Coulomb* doit ses belles découvertes sur le magnétisme et l'électricité (1); c'est avec leur secours que M. *Haüy* a porté au dernier degré de précision et de certitude son ingénieuse théorie de la structure des cristaux; tout récemment encore, n'est-ce pas l'analyse la plus profonde qui a donné à M. *Laplace* le secret de ces phénomènes capillaires autour desquels les physiciens s'étaient si long-temps et si curieusement exercés, sans pouvoir en pénétrer la cause? N'est-ce pas aussi à l'aide de notions rigoureuses et géométriques, que *Lavoisier* est parvenu à introduire l'exactitude dans les procédés de la Chimie? que vous-même avez établi les rapports constans qui existent entre les capacités de saturation des différens acides pour les différens alkalis, propriété bien remarquable, et qui tient immédiatement aux premières lois de l'action chimique? Enfin, pour comprendre tout dans un seul exemple, *Newton*, le premier des géomètres, a été aussi

(1) A l'époque où ceci fut écrit, l'Institut possédait encore cet excellent homme, aussi distingué par son caractère que par son génie. Combien il aurait été satisfait de voir tous ses travaux confirmés par la savante analyse dont M. *Poisson* a enrichi la théorie de l'électricité.

le premier des physiciens, et personne de son temps n'a donné sur la Chimie des vues plus neuves et plus profondes.

Il faut l'avouer, puisque cet aveu est utile, ce qui a nui aux progrès de la Physique en France, c'est qu'on en a fait une science d'exposition plutôt que de recherches. On s'est contenté d'offrir au public une certaine série d'expériences brillantes, au lieu de s'attacher à fixer exactement les lois des phénomènes, et à déterminer leurs rapports, ce qui ne peut se faire que par des raisonnemens géométriques; et tel a été l'effet de cette fausse marche, qu'il reste encore aujourd'hui à introduire dans l'enseignement de la Physique, les considérations exactes et les méthodes rigoureuses qui seules peuvent la faire avancer.

Heureusement il existe un ouvrage français qui aura, sous ce rapport, l'effet le plus utile, et qui, sans aucun doute, donnera bientôt chez nous à l'étude de la Physique, une meilleure direction. Je veux parler du *Traité de Physique* de M. *Haüy*. Cet ouvrage médité depuis long-temps par un esprit juste, délicat et fin, habitué aux idées précises, et familiarisé avec les méthodes d'invention par ses propres découvertes, ne pouvait renfermer que les principes les plus sûrs et les plus exacts. Aussi n'a-t-il point trompé l'attente du public qui le désirait avec impatience; et si l'auteur, comme il a eu lui-même la modestie de l'annoncer, a trouvé la possibilité d'y faire encore des améliorations, il en résultera sans doute un ensemble parfait de toutes les connaissances physiques. M. *Haüy* a pensé avec raison que les lois générales de l'équilibre et du mouvement, devaient être

indiquées dans son ouvrage, mais que les phénomènes particuliers à la statique et à la mécanique des corps, soit solides, soit fluides, devaient être renvoyés à ces deux sciences, et exposés à part d'une manière plus mathématique. C'est ce que M. *E. G. Fischer* de Berlin avait cherché à faire depuis plusieurs années, dans l'ouvrage dont nous publions aujourd'hui la traduction; et il a exécuté ce plan d'une manière si simple, en procédant si bien des principes aux expériences, et des expériences aux théories, que celles-ci, quoique géométriques par elles-mêmes, sont cependant accessibles aux personnes les moins exercées. En suivant toujours la même marche, M. *Fischer* a joint à cette première partie des notions particulières sur la chaleur, l'électricité, le galvanisme, le magnétisme et la lumière; de sorte que, sous un très-petit volume, son livre présente, comme le titre l'annonce, des élémens fort exacts et assez complets de *Physique mécanique.*

Lorsque M. *Fischer* vous adressa son Ouvrage, vous me proposâtes de le parcourir; et, ne connaissant pas la langue allemande, je priai une personne qui m'est très-chère d'en traduire quelques morceaux. La clarté et l'excellente méthode qui y régnaient, m'engagèrent à les multiplier, et d'autant plus que je me trouvais moi-même chargé d'un cours de Physique, pour lequel j'avais adopté un plan presque tout-à-fait semblable (1). De cette manière, l'Ouvrage s'étant

---

(1) Voyez le Traité de Physique de M. *Biot* en 4 volumes, et l'Abrégé en 2 volumes. Nous pourrons encore citer ceux de MM. *Despretz, Beudant,* et, en particulier, celui de M. *Pelletan fils,* destiné aux élèves, qui veulent étudier la médecine.

trouvé traduit en grande partie avec les Additions et les Notes que les progrès des connaissances avaient rendues nécessaires, je me suis déterminé, d'après votre avis, à en publier la traduction (1).

Indépendamment de l'utilité dont cet Ouvrage peut être par lui-même, il aura encore un autre avantage précieux pour les physiciens français; ce sera de leur indiquer les meilleures sources auxquelles ils pourront recourir pour avoir des renseignemens précis sur toutes les parties de la Physique. En effet, les Allemands possèdent sous ce rapport, un ouvrage extrêmement précieux qui est le *Dictionnaire de Physique de Gehler,* remarquable par son étendue, par le talent et l'exactitude avec lesquels les différentes matières y sont traitées, et enfin par l'érudition qui y règne. Cet ouvrage et un autre du même genre, dont l'auteur est M. *J. G. Fischer,* sont très-souvent cités dans la *Physique mécanique;* et, en y renvoyant, l'auteur donne en quelque sorte la clef de tous ceux qui se rapportent au même objet. Il serait fort utile de traduire le *Dictionnaire de Gehler*; on répandrait ainsi une infinité de résultats de Physique qui ne sont pas connus en France, ou qui le sont superficiellement. En général, nous nous montrons trop peu empressés à apprendre ce qui se fait hors de notre pays, et cette insouciance nous a tenus souvent fort en arrière de découvertes très-importantes. Par exemple, les belles re-

---

(1) Les Notes et les Additions mathématiques de l'Auteur sont indiquées par des lettres; les miennes le sont par des chiffres.

cherches de *Volta* sur la galvanisme, n'ont été connues en France que plusieurs années après leur publication; et l'on se livrait encore ici à des conjectures fausses et incertaines sur la nature de ces nouveaux phénomènes, lorsqu'il était déjà prouvé depuis long-temps, pour tout le reste de l'Europe, que les effets galvaniques sont produits par le développement de l'électricité. Pour en citer encore deux autres exemples frappans, le bel ouvrage de M. *Chladni* sur les vibrations des surfaces, n'a été connu qu'après plus de huit ans, par les soins de M. *Haüy;* et l'ouvrage du même auteur, sur les pierres tombées du ciel, n'est venu à notre connaissance que lorsque le météore de l'Aigle a fixé l'attention générale sur les aérolithes. Cependant la réalité de la chute de ces masses était depuis long-temps établie, d'après les faits antérieurs, et par les seules forces de la critique, dans l'ouvrage de M. *Chladni*. Il serait bien à désirer, mon cher Confrère, que chacun à cet égard, imitât votre exemple. Placé au premier rang parmi les chimistes, à la tête desquels vous a élevé votre génie, vous vous montrez plus empressé que personne à vous instruire de ce qui se fait chez les savans des autres nations; et, concentrant, pour ainsi dire, en vous-même, les résultats contenus dans les écrits dont ils s'empressent de vous faire hommage, vous tirez de leur ensemble et de vos propres découvertes les considérations générales qui sont les fondemens de la Chimie, et que vous avez établies avec tant de supériorité.

Vous ne dédaignerez donc pas, mon cher Confrère, l'hommage d'un simple livre d'élémens. Vous le savez, c'est

par les traités de ce genre que les sciences se répandent et, selon qu'ils développent dans l'esprit du lecteur des idées justes ou fausses, ils ont l'influence la plus heureuse ou la plus funeste. L'auteur de la *Physique mécanique* vous est déjà connu par ses autres écrits, qui sont tous composés dans un esprit excellent (1). Egalement versé dans la Géométrie, la Chimie et la Physique, il n'a point séparé ces sciences dans le livre dont nous publions aujourd'hui la traduction. Le succès que ce Traité a obtenu en Allemagne, mettra sans doute M. *Fischer* en état de publier bientôt, comme il en a le projet, deux traités semblables pour la Physique chimique et organique, ainsi que pour la Physique appliquée, et nous nous empresserons également de

---

(1) M. Fischer est encore auteur des ouvrages suivans :

1.° *Betrachtungen über die Cometen, etc.* Considérations sur les Comètes, à l'occasion du retour attendu d'une comète en 1789. Berlin, 1789, in-8.° — 2.° *Théorie der Dimensions-Zeichen*, Théorie d'un nouveau genre de signes, appelés signes de dimensions, et qui désignent les coefficiens d'une série et de leurs puissances, avec leur application à plusieurs matières d'analyse: Halle, 1792, 2 vol. in-4.° Cet ouvrage contient une méthode tout-à-fait génerale pour trouver la racine de chaque équation, puis une méthode générale pour trouver chaque puissance d'une série finie ou infinie; enfin, une méthode générale de la réversion des séries, et plusieurs autres applications à des problèmes d'analyse. — 3.° *Rechenbuch für das Gemeine Leben, etc.*, Traité d'Arithmétique élémentaire, 2 vol. in-8.° Berlin, 1797 et 1799. — 4.° *Der Rechenschüler, etc.*, l'Elève en Arithmétique, ouvrage destiné à l'instruction des enfans. Il en a paru deux éditions à Berlin, l'une en 1788, l'autre en 1806. — 5.° *De Disciplinarum physicarum Notionibus, finibus legitimis et nexu systematico Dissertatio. Berolini*, 1797, *in*-8.°

Il a publié aussi des idées sur l'instruction des écoles scientifiques, des traductions importantes, et un grand nombre de mémoires de Mathématiques, de Physique, de Chimie et de Philosophie.

les traduire, si celui-ci est accueilli en France, comme nous l'espérons. Ce serait une chose extrêmement précieuse que d'avoir ainsi les élémens complets de la Physique, considérée sous ce triple rapport. Leur concentration dans trois volumes permettant de les donner à un prix très-modique, les rendrait accessibles à tous les jeunes gens qui étudient les sciences; et cette considération n'est pas à négliger dans un objet de cette nature; car le plus grand nombre des personnes qui vivent dans un état élevé, ne comptent pas encore l'instruction et les sciences parmi leurs décorations.

Vous qui savez si bien allier les titres du génie avec ceux qui sont le fruit de la considération personnelle qui vous est due, agréez l'hommage que nous vous faisons de ce travail, et permettez-nous d'y joindre l'expression de la plus sincère amitié.

BIOT,
Membre de l'Institut.

Août 1806.

PHYSIQUE

MÉCANIQUE.

INTRODUCTION.

§ 1. La science naturelle universelle, c'est-à-dire, l'ensemble de nos connaissances sur la nature, est, ou historique, et se nomme alors *Histoire naturelle;* ou dogmatique, et porte le nom de *Physique dogmatique.*

§ 2. L'objet particulier de l'Histoire naturelle, est la recherche de tout ce que nous pouvons observer immédiatement sur les corps, afin d'en déduire leur classification. Cet examen conduit à partager cette science en trois grandes divisions : la *Minéralogie,* la *Botanique,* la *Zoologie;* divisions déterminées par les différences essentielles qui existent entre les substances inorganiques et les êtres organisés.

§ 3. La physique dogmatique s'occupe de la recherche des forces naturelles et des lois d'après lesquelles s'opèrent les changemens d'état des corps. Mais il faut d'abord apprendre à connaître les forces naturelles isolément et d'une manière abstraite, avant d'oser jeter ses regards sur les rapports généraux de tous les phénomènes naturels. La première de ces considérations constitue la *Physique théorique;* la seconde, la *Physique appliquée.*

§ 4. La Physique théorique traite ou des forces naturelles qui agissent sur la nature organique, ou de celles qui agissent sur la

nature inorganique; elle est, d'après cette distinction, ou *Physique organique*, ou *Physique inorganique.*

§ 5. Tous les changemens qui arrivent dans les corps inorganiques, peuvent être classés en deux divisions : ce sont des changemens de l'état extérieur des corps, ou de leurs propriétés matérielles internes. L'examen des premiers constitue la *Physique mécanique;* l'étude des autres, la *Physique chimique.*

§ 6. Les phénomènes organiques dépendent des forces physiques modifiées par l'action de la vie; mais les principes et les lois de ces modifications ne sont encore connus que d'une manière très-imparfaite, qui se réduit presque à la simple observation. Sous ce rapport, la physique organique se divise en trois parties : l'une mécanique, l'*Anatomie des corps organisés ;* une autre, chimique, la *Chimie des corps organisés ;* et une troisième, particulièrement explicative, la *Physiologie des corps organisés.*

§ 7. La Physique appliquée considère l'ensemble des phénomènes naturels dans leurs rapports réciproques, soit sur cette terre, et elle s'appelle alors *Géographique physique;* soit dans les cieux, et elle prend le nom d'*Astronomie physique.* On y ajoute une troisième partie, mais qui existe plutôt spéculativement qu'en réalité; elle tente de rechercher l'origine et l'état actuel de la nature : on la nomme *Cosmologie.* Ce qu'on présente sous le nom de *Géologie,* ou de *Géogonie,* n'est qu'un fragment très-imparfait de cette science.

§ 8. D'après le plan de cet ouvrage, nous devons y traiter de la *Physique mécanique* que, jusqu'ici, en y mêlant quelque peu de Chimie et des élémens incomplets d'Astronomie et de Géographie, on a nommée exclusivement *Physique,* ou *Science de la nature ;* dénomination à laquelle, dans l'état actuel des connaissances naturelles, aucune partie ne peut avoir droit préférablement aux autres. La Physique mécanique est, dans ses élémens essentiels, presqu'entièrement mathématique : et, en général, à mesure que l'on s'avance plus profondément dans la connaissance de la nature, chaque partie de la

Physique proprement dite, acquiert une liaison plus intime avec les Mathématiques. Mais comme une exposition rigoureusement mathématique serait trop difficile pour le premier enseignement, on l'évite autant que possible, en employant le secours des expériences, c'est-à-dire, qu'on présente historiquement les résultats que les mathématiques démontrent, et qu'on les confirme par les expériences : de là l'idée d'une *Physique expérimentale*.

§ 9. Le but particulier de la Physique mécanique, est de considérer l'état extérieur des corps inorganiques, ou, plus exactement, d'examiner les phénomènes du repos et du mouvement qui s'observent dans ces corps.

§ 10. Mais il y a deux genres de mouvemens très-différens : 1.° le mouvement des corps produit par des causes sensibles, c'est-à-dire, dont l'existence peut être constatée par nos sens ; 2.° les mouvemens produits par certaines modifications des corps, et que nous apercevons sans avoir une idée nette de la cause motrice. De ce nombre sont les effets de la chaleur, de la lumière, de l'électricité, etc., etc. On attribue, non sans vraisemblance, les phénomènes de ce genre à de certaines matières non perceptibles, que l'on nomme le *calorique*, la *lumière*, la *matière électrique*. D'après cette distinction, la Physique mécanique se divise en deux parties : 1.° l'étude des corps perceptibles, 2.° et l'étude des substances non perceptibles.

L'étude des corps *perceptibles* est divisée en quatre sections qui traitent :

I.re Des Corps en général.

II.e Des Corps solides.

III.e Des Corps liquides.

IV.e Des Corps élastiques ou aériformes.

L'étude des substances *non perceptibles* est aussi, dans l'état actuel de la science, partagée en quatre sections qui traitent :

I.re De la Chaleur.

II.e De l'Électricité.

III.e De la Force magnétique.

IV.e De la Lumière.

§ 11. Il n'est ni utile ni convenable d'exposer la Physique, en suivant, à la rigueur, l'ordre de ce tableau systématique. Ainsi, nous placerons la section de la chaleur immédiatement après celle des corps solides, parce que, sans la connaissance des lois suivant lesquelles la chaleur agit, l'étude des fluides liquides et aériformes ne peut être que très-imparfaitement présentée (1).

(1) On trouve des développemens plus étendus sur le tableau systématique de cette introduction, dans le petit ouvrage suivant : *De disciplinarum physicarum notionibus, finibus legitimis, et nexu systematico, Dissertatio*, auctore E. G. Fischer, Berlini, 1797.

PREMIÈRE SECTION.

DES CORPS EN GÉNÉRAL.

CHAPITRE PREMIER.

Considérations générales sur les propriétés qui appartiennent à tous les corps.

§ 1. Tout ce que nos sens nous font connaître, sont ou des êtres matériels que l'on nomme *corps*, ou des changemens qui se passent dans les corps. Mais il n'est que deux de nos sens qui nous peuvent convaincre immédiatement de l'existence des autres corps, le toucher et la vue; et le premier seul peut déterminer, sans aucun doute, si une apparence est un corps ou n'en est pas un; ainsi, un corps est proprement une *chose palpable*.

§ 2. Il y a de certaines propriétés qui sont *générales*, c'est-à-dire, communes à tous les corps, et l'on est assuré de leur généralité, soit parce qu'on ne pourrait apercevoir les corps sans ces propriétés, soit parce que l'expérience a prouvé qu'elles se trouvent dans tous les corps.

§ 3. Parmi les premières propriétés, se trouvent l'*étendue* et toutes ses modifications. Chaque corps a une *forme* déterminée, quoiqu'elle soit variable dans les corps liquides et aériformes, selon la forme des parois par lesquelles on les limite. Chaque corps a une grosseur déterminée, ou remplit un certain espace, qu'on nomme son *volume*. Chaque corps est *divisible*; mais on doit distinguer la *divisibilité géométrique* et la *divisibilité physique*. La première est illimitée, et nous ignorons si la dernière l'est aussi, ou à quel point elle s'arrête; seulement l'expérience montre qu'au moyen de forces naturelles et artificielles, les corps peuvent être divisés en particules tellement ténues, qu'elles deviennent imperceptibles aux sens.

§ 4. Une autre propriété générale, c'est celle que l'on nomme

l'*impénétrabilité*. Elle consiste en ce qu'aucun corps ne peut exister simultanément avec un autre corps, dans la même portion de l'espace que celui-ci occupe. C'est par l'impénétrabilité que les corps nous deviennent palpables; elle doit donc appartenir à tout ce que nous appelons corps. Néanmoins, on peut, au premier coup-d'œil, douter qu'elle existe dans tous les corps d'une manière absolue, c'est-à-dire, dans toutes les circonstances.

§ 5. L'exclusion de localité qu'elle exprime, existe sans aucun doute, 1.° entre deux corps parfaitement homogènes, quels qu'ils soient, solides, liquides ou aériformes; 2.° entre deux corps solides, même hétérogènes, aussi long-temps qu'ils demeurent à l'état de solides; 3.° entre un corps solide et un corps fluide, soit liquide ou aériforme, tant que le premier se conserve à l'état solide; d'où l'on voit aussi qu'elle existe entre notre propre corps et tous les autres corps perceptibles.

Mais cette propriété semble devenir douteuse lorsque deux corps fluides, liquides ou aériformes, se mêlent, ou lorsqu'un corps solide se dissout dans un corps fluide; enfin, lorsque deux corps forment une *combinaison* tout-à-fait homogène, ce qu'on doit bien distinguer d'une *mixtion*, quelque bien faite qu'elle soit (1).

§ 6. Une conséquence nécessaire de l'impénétrabilité est la *coercibilité* (2), de sorte que les mots *impénétrable, palpable* et *coercible*, signifient la même chose.

§ 7. La *pesanteur* et la *mobilité* ne sont réellement pas des conditions nécessaires de la perceptibilité; cependant, l'expérience apprend qu'elles appartiennent à tous les corps perceptibles, sans exception; mais comme ces deux propriétés des corps, sont au nombre des objets les plus essentiels de la Physique mécanique, nous en traiterons avec détail dans des chapitres particuliers.

§ 8. La plupart des physiciens comptent encore parmi les propriétés générales des corps, la *porosité*, la *compressibilité* et l'*élasticité*; mais les raisons qui portent à croire que ces qualités se rencontrent dans tous les corps, sont insuffisantes.

---

(1) Cependant, lorsqu'on est plus avancé dans l'étude des phénomènes naturels, on reconnaît que l'impénétrabilité existe aussi bien dans ces cas là que dans les autres.

(2) Faculté ou possibilité d'être rassemblé et retenu dans un espace fini.

§ 9. Tout ce qui précède ne peut s'appliquer qu'aux corps perceptibles; mais plus on avance dans la connaissance de la nature, plus on se sent pressé de reconnaître aussi l'existence de substances non perceptibles (Introd., § 10). Parmi les physiciens modernes, il en est beaucoup qui penchent, par de bonnes raisons, à refuser la pesanteur et l'impénétrabilité aux substances non perceptibles, et à leur laisser seulement l'étendue et la mobilité; d'autres leur accordent les deux premières qualités, mais à un degré non perceptible pour nos sens. Tous ont coutume de les nommer *substances impondérables* ou *incoercibles* (1).

CHAPITRE II.

De l'état d'agrégation des Corps.

§ 1. Tous les corps naturels sont ou *solides* ou *fluides*. Les corps solides sont ceux dont les particules adhèrent naturellement entre elles, de sorte qu'elles ne peuvent se séparer, ni changer de position les unes par rapport aux autres, sans l'action de quelque force extérieure; ce qui donne à ces corps une forme particulière déterminée. Dans les corps fluides, au contraire, les molécules adhèrent si peu les unes aux autres, qu'elles peuvent aisément se séparer et encore plus aisément changer de position entre elles. Par cette raison, ces corps ne peuvent affecter aucune forme particulière déterminée. Entre les corps fluides, il existe une différence remarquable : les uns conservent naturellement leur volume, sans faire un effort continuel pour s'étendre; on les nomme *liquides :* dans les autres, les particules tendent continuellement à s'écarter; on les nomme *fluides élastiques* ou *aériformes*.

(1) S'il existe réellement des substances non perceptibles, comme beaucoup de phénomènes tendent à le faire présumer, les idées que l'on peut se former sur leur nature et leur constitution intime, doivent être uniquement déduites de leurs propriétés actuelles, manifestées par les phénomènes; ce doit être, pour ainsi dire, l'expression abstraite du principe de tous leurs effets. On est arrivé à ce degré d'abstraction pour l'électricité et le magnétisme.

On appelle les trois états d'agrégation des corps, la *solidité*, la *liquidité*, et l'*état aériforme*.

§ 2. Beaucoup de corps peuvent passer successivement par les trois états d'agrégation, au moyen de forces naturelles ou artificielles, sans subir, cependant, de changemens internes. L'eau, par exemple, le mercure et la plupart des métaux qui se fondent aisément, sont dans ce cas : on peut les rendre successivement solides, liquides et aériformes. D'autres ne paraissent que sous deux de ces états, par exemple, solides et liquides, comme les métaux qui ne se fondent que difficilement; ou liquides et fluides élastiques, comme l'alcool et un grand nombre d'autres substances. D'autres corps enfin ne se montrent qu'à un seul état; par exemple, les terres simples, les métaux infusibles, la plupart des espèces d'air, etc.

§ 3. La Physique possède deux moyens de changer l'état d'agrégation des corps; le premier est la chaleur. L'eau, par exemple, est liquide entre la congélation et l'ébullition; au-dessous de la première limite, elle est solide; au-dessus de la seconde, elle est élastique. Le second moyen est l'emploi des combinaisons chimiques. Lorsque deux corps se combinent ensemble d'une manière intime, souvent l'un des deux communique à l'autre son état d'agrégation; souvent aussi la combinaison prend un état différent de ceux qu'avaient les parties composantes : par exemple, un sel devient liquide dans l'eau; l'eau elle-même devient fluide élastique dans l'air; la terre silicieuse passe à l'état de gaz dans l'acide fluorique. Le gaz acide muriatique et le gaz ammoniaque forment le muriate d'ammoniaque solide. Le gaz hydrogène et le gaz oxigène composent l'eau à l'état liquide, etc. Si la chaleur est, comme tout porte à le croire, l'effet d'une substance non perceptible capable de combinaison, ces deux moyens se confondent en un seul (1).

§ 4. Les changemens dans les états d'agrégation dépendent, selon toutes les apparences, de l'opposition de deux forces, l'une attractive,

(1) Cette vraisemblance dont parle l'auteur, n'est peut-être pas aussi forte qu'il le suppose. On ne sait réellement pas du tout ce qu'est le principe de la chaleur. Un assez grand nombre de phénomènes s'expliquent assez bien, en supposant que ce soit une matière rayonnante, susceptible d'entrer en combinaison: d'autres paraissent jusqu'à présent tout-à-fait inexplicables dans cette supposition, et se lient mieux à des idées d'ondulations excitées dans un milieu élastique.

et l'autre répulsive. La première, c'est-à-dire la force attractive, est une propriété inhérente aux particules des corps; et l'autre, la force répulsive, est produite par le calorique qui se combine avec elles. Le corps est solide, lorsque la force attractive surpasse la force répulsive; liquide, quand toutes deux sont en équilibre; et fluide élastique, lorsque la force répulsive l'emporte sur l'autre.

§ 5. L'état d'agrégation des corps a une grande influence sur tous les phénomènes naturels, et particulièrement sur les lois du mouvement et de l'équilibre. C'est ce qui a déterminé les divisions de la *Physique mécanique* (1) (Introduction, page 3.)

CHAPITRE III.

Variétés infinies des propriétés matérielles des Corps.

§ 1. L'EXPÉRIENCE montre que les corps agissent diversement les uns sur les autres; c'est en cela que consiste la *variété matérielle des corps*.

§ 2. On a cherché presque uniquement jusqu'ici à expliquer ce phénomène, par la supposition que les petites particules des corps, sont peut-être d'une même nature matérielle, et qu'elles varient seulement de grandeur, de forme, de situation et d'éloignement entre elles, dans les différens corps ; mais cette hypothèse n'est ni suffisante ni probable.

§ 3. L'expérience est le seul guide exact dans la Physique; et quoique les lumières qu'elle nous a fournies sur ce sujet, appartiennent à la physique chimique, il est cependant nécessaire, pour donner une idée juste des phénomènes naturels, de placer ici un court abrégé des résultats de ces recherches.

§ 4. Presque tous les corps que nous présente la nature, sont composés de substances hétérogènes; ainsi, par exemple, le cinabre est composé de soufre et d'oxide de mercure : ces substances se nomment *principes constituans*, pour les distinguer des *particules intégrantes*,

---

(1) L'opinion *d'Aristote* sur les quatre prétendus élémens, l'eau, la terre, le feu et l'air, a un rapport fautif, mais assez marqué avec les divers états d'agrégation.

qui sont simplement des fragmens homogènes d'un corps. Souvent les principes constituans d'un corps, peuvent être eux-mêmes décomposés encore en d'autres *principes constituans éloignés;* par exemple, l'oxide de mercure se décompose en mercure et en oxigène. Cependant, le chimiste finit toujours par trouver des matières qu'il ne peut décomposer, soit qu'en effet elles se trouvent à l'état simple et non décomposable, soit qu'il manque encore de moyens pour les décomposer davantage.

§ 5. Les chimistes comptent maintenant (décembre 1818) cinquante-une de ces substances pondérables et non décomposées, dont se forment tous les corps (1). On trouve dans tous les élémens de Chimie, leur liste qui varie chaque année : elle comprend aujourd'hui quatre substances élastiques, et quarante-sept solides; parmi ces dernières quatre sont inflammables, et toutes les autres sont des métaux.

Pour donner plus de clarté à ceci, nous allons considérer plus particulièrement quelques phénomènes chimiques.

§ 6. Par exemple, un sel pur, tel que le sulfate de soude, le salpêtre ou le sel commun, se dissout parfaitement dans l'eau pure, et forme avec elle un seul liquide parfaitement homogène. Le microscope le plus fort ne peut découvrir aucune particule de sel dans cette dissolution. Ce phénomène semble contraire aux lois de la pesanteur, si l'on veut admettre que les particules de sel nagent seulement dans l'eau, infiniment divisées. On doit plutôt croire qu'elle sont devenues fluides elles-mêmes, et se sont répandues également entre toutes les particules d'eau. On conçoit par là la grande différence qui existe entre une *combinaison* et un *mélange;* la dissolution de sel est un corps composé dont les principes constituans sont le sel et l'eau.

---

(1) On comptait seulement quarante-deux substances simples en 1804; on en compte aujourd'hui, en 1818, plus de cinquante. Ce nombre s'accroît tellement, à mesure que les recherches chimiques se multiplient, qu'il serait absolument inutile de vouloir le fixer avec précision. Par exemple, on trouve maintenant dans le platine brut, jusqu'à onze métaux simples ou indécomposés. Qui sait si on n'y en trouvera pas encore quelques-uns? Cette grande multiplicité n'est probablement qu'un effet du peu d'avancement de la Chimie minérale; car il est présumable que ces substances ne sont pas toutes rigoureusement irréductibles les unes dans les autres. Mais, dans l'état actuel de la science, il faut nécessairement regarder comme distinctes les substances qui résistent à nos moyens de décomposition; c'est ce qui en fait augmenter si rapidement le nombre, à mesure que la Chimie s'étend.

§ 7. Si l'on expose une semblable dissolution saline à une chaleur convenable, l'eau se vaporise, mais le sel reprend l'état solide. C'est là un exemple de *décomposition* ou *séparation* chimique.

§ 8. Le sulfate de soude lui-même peut être décomposé en acide sulfurique et en soude ; ces substances sont donc les *principes constituans éloignés* de la dissolution saline, et les *principes constituans immédiats* du sulfate de soude lui-même. Mais l'acide sulfurique peut être décomposé en soufre et en oxigène. Ainsi, ces deux dernières substances sont, par rapport au sulfate de soude, des principes constituans éloignés. Le soufre, l'oxigène et la soude sont des substances simples ou non encore décomposées (1) (§§ 4, 5.)

§ 9. Si l'on mêle une partie en volume de gaz oxigène, nommé aussi *air vital*, à deux parties de gaz hydrogène ou air inflammable, il en résulte un mélange gazeux tout-à-fait homogène, qu'on appelle *gaz tonnant*. Si, dans un vase de verre à parois épaisses, fermé assez exactement pour que rien de pondérable ne puisse y entrer ni en sortir, l'on met environ la cinquième partie de ce qu'il pourrait contenir de gaz tonnant, et si ensuite on y fait passer une étincelle électrique, la masse d'air enfermé s'enflamme ; dans l'instant, tout le gaz a disparu, et la surface intérieure du vase est recouverte de vapeurs d'eau. En répétant l'expérience, on peut produire assez de liquide pour s'assurer que le produit est de l'eau véritable. On trouve dans le *Journal de Chimie* de *Scherer*, tome X, page 310, la description d'un appareil commode pour faire cette expérience.

§ 10. L'eau est donc elle-même un corps composé, et ses principes constituans sont l'oxigène et l'hydrogène ; mais comme, dans l'expérience de la formation de l'eau, excepté l'étincelle électrique, rien de perceptible ne s'introduit dans le matras de verre, ni ne s'en échappe, et que cependant le gaz tonnant subit un changement si remarquable, on est presque forcé d'admettre que l'étincelle électrique a séparé du gaz tonnant quelque substance non perceptible et

---

(1) Depuis l'époque où parut cet ouvrage, M. *Davy* a découvert que la potasse et la soude sont des oxides métalliques. Il y est parvenu en faisant agir sur ces alcalis le courant électrique d'une forte batterie voltaïque. MM. *Gay-Lussac* et *Thénard* ont fait rentrer ce beau résultat dans le domaine de la Chimie, en décomposant les oxides alcalins par le seul jeu des affinités. (*Voyez* l'ouvrage qu'ils ont publié sur cette matière aussi neuve qu'importante.)

qu'on ne peut empêcher de traverser les corps, ou qu'elle l'y a introduite (1).

§ 11. Dans tous les phénomènes chimiques décrits §§ 6, 7, 8, 9, 10, il n'arrive incontestablement rien autre chose qu'une combinaison ou une décomposition; et il en est de même pour tous les phénomènes chimiques. Cette explication des variétés matérielles des corps à laquelle l'expérience seule nous autorise, consiste donc dans l'idée qu'il n'existe pas un grand nombre de substances simples, mais que celles qui sont telles, sont essentiellement différentes, et que, de leurs combinaisons infinies, naissent toutes les différences matérielles qu'on observe dans les corps.

§ 12. Le mélange de deux substances est, sans aucun doute, la conséquence d'une attraction, d'un penchant à se joindre, ou plutôt à pénétrer mutuellement dans les interstices vides qui existent entre leurs parties matérielles. C'est ce qu'on nomme l'*affinité* des substances; et l'on considère cette propriété comme une force naturelle qui s'exerce à chaque point de contact des corps hétérogènes, quoique souvent elle ne produise pas de combinaison entre eux, mais seulement une faible adhésion, parce qu'une force plus puissante agit en sens contraire et empêche la combinaison.

CHAPITRE IV.

Des diverses manières de considérer les corps.

§ 1. Le système dynamique est maintenant fort en usage en Allemagne, et celui des atomes obtient le même avantage en France. Nous ne devons donc pas négliger d'en donner une courte exposi-

(1) L'auteur veut sans doute parler ici de la chaleur qui se dégage, en effet, du mélange, lorsque les deux gaz qui le composent entrent en combinaison et forment de l'eau. J'ai prouvé par une expérience directe que la transmission de l'étincelle électrique n'est point nécessaire pour la formation de l'eau. Car en enfermant les deux gaz dans un canon de fusil, et en les comprimant avec rapidité, la seule chaleur qui s'en dégage, les enflamme et détermine leur combinaison. Mais il faut prendre quelques précautions en faisant cette expérience; car le tube de fer éclate souvent par la force de l'explosion.

tion. Tous deux sont des tentatives de l'esprit humain, pour se représenter autant que possible l'essence intime des corps.

Système des atomes. (1)

§ 2. Les partisans de ce système supposent chaque corps composé de particules indivisibles et impénétrables, qu'ils nomment *atomes;* elles sont d'une petitesse presqu'infinie, laissent entre elles des espaces vides, et rendent ainsi la porosité une propriété nécessaire des corps. Elles ne se touchent point, mais sont maintenues à distance par de certaines forces attractives et répulsives qui existent entre elles : de là vient que, dans le volume de chaque corps, il y a beaucoup plus d'espace vide que de matière. On peut, avec ce système, expliquer les variétés matérielles des corps, soit par une différence matérielle des atomes, soit par une différence dans leur forme, leur grandeur, leur position et leur distance. Lorsque deux substances se combinent chimiquement, les atomes de l'une pénètrent dans les interstices de l'autre, et les atomes des deux substances se combinent si parfaitement, qu'ils deviennent ensemble comme de nouvelles espèces de particules constituantes, à cela près qu'elles ne sont pas simples, mais composées.

Système dynamique.

§ 3. Dans ce système, on regarde chaque corps comme un espace rempli d'une matière continue. La porosité devient alors une propriété accidentelle de la matière ; mais la compressibilité et la dilatabilité en sont des qualités essentielles. L'état d'un corps ne dépend que de certaines forces attractives ou répulsives, et son volume doit changer aussitôt que les rapports de ces forces ne sont plus les mêmes. On explique les variétés matérielles, en admettant l'existence de quelques substances primitives simples dont les combinaisons différentes produisent tous les corps. Lorsque deux substances se combi-

---

(1) Le système atomistique de *Dalton*, semble indiquer que les atomes, ou les dernières particules de la matière, ont, pour chaque corps différent, un poids relatif qui fait partie de leurs propriétés immuables. Dans ce système, tous les corps simples sont formés d'atomes de poids fixes et différens : on ne connaît pas le poids absolu de chaque atome, mais bien le rapport qui existe entre ces différens poids.

nent chimiquement, les partisans de ce système doivent admettre absolument qu'elles se pénètrent dans leur essence la plus intime.

Considérations empiriques.

§ 4. L'histoire de la science apprend que les considérations purement spéculatives ont toujours égaré. Le véritable physicien ne doit donc s'astreindre ni au système des atomes, ni au système dynamique : la nature intime des corps nous restera toujours cachée. Ce que nous connaissons de leurs parties extérieures, nous le devons entièrement à une observation attentive, et à une critique prudente de ce que nos sens nous indiquent. Les Mathématiques elles-mêmes nous égarent, lorsqu'elles n'ont pour fondement que des hypothèses ingénieuses et non des principes établis sur les faits mêmes. Le physicien doit donc ne reconnaître pour véritable, que ce qui a été prouvé par l'expérience. Il peut cependant, il doit même employer des hypothèses; mais il faut qu'elles puissent être essayées à la pierre de touche de l'observation. Toute hypothèse qui ne peut être confirmée ou renversée par l'expérience, n'est qu'un jeu d'esprit et une véritable subtilité. Cependant, de telles hypothèses peuvent être quelquefois employées comme des moyens de se représenter les choses réelles ; mais alors il faut toujours se souvenir que ce sont seulement des fictions accommodées à la faiblesse de notre esprit.

Cette manière d'étudier la nature, est ce que je nomme la *considération empirique*, et je la regarde comme le seul moyen exact d'avancer dans sa connaissance.

CHAPITRE V.

Idées mathématiques et lois du Mouvement.

§ 1. Si l'on anéantit, par la pensée, tous les corps, il reste encore l'idée d'une étendue immense et se prolongeant en tous sens, qu'on appelle l'*espace infini* ou *absolu*. Chaque partie de cet espace qu'on peut limiter à volonté, ou qui est occupée par une portion du monde corporel, est nommée *espace limité* ou *relatif*. L'espace absolu est immuable; mais on peut faire mouvoir tout espace relatif par la pensée.

§ 2. Le lieu qu'un corps occupe dans un espace, s'appelle sa *place*. Le *mouvement* est le changement de place ; le *repos* est la permanence en une place. Tous deux se nomment *relatifs* ou *absolus*, selon qu'ils se rapportent à un espace relatif, ou à un espace absolu (1).

§ 3. Lorsque toutes les parties d'un corps ont un mouvement commun, la ligne que parcourt un quelconque de ses points, se nomme la *trajectoire* du corps. Selon que la ligne parcourue est droite ou courbe, on nomme le mouvement *rectiligne* ou *curviligne*. On l'appelle *uniforme*, lorsque le corps parcourt en temps égaux des espaces égaux. Le mouvement qui n'est pas uniforme, s'appelle *mouvement varié*. Il est *accéléré*, lorsque les espaces parcourus dans les mêmes intervalles de temps, sont de plus en plus considérables. Il se nomme *retardé*, lorsque les espaces deviennent progressivement moindres, le temps restant le même.

§ 4. L'espace que parcourt un corps mu uniformément dans une unité de temps, par exemple, dans une seconde, se nomme sa *vitesse*. Dans un mouvement non uniforme, la vitesse change à chaque instant; et cette vîtesse, dans un instant donné, est égale à l'espace que le corps parcourrait en une unité de temps, s'il conservait uniformément le mouvement qu'il a alors.

§ 5. Dans un mouvement uniforme, l'espace parcouru est proportionnel au temps. On connaît donc la vitesse, en divisant le chemin parcouru, par le temps employé à le parcourir (2).

---

(1) Si un corps est en repos dans un espace relatif en mouvement, le repos n'est que *relatif*, puisque le corps se meut dans l'espace absolu. Si le mouvement du corps dans l'espace relatif, est égal et directement opposé à celui de cet espace relatif dans l'espace absolu, le corps est en mouvement *relatif* et en repos *absolu*.

(2) Soit S l'espace parcouru pendant le temps T, par un corps animé d'un mouvement uniforme ; si l'on désigne par V la vitesse, on aura $V = \frac{S}{T}$.

Cette formule fondamentale de toute la Mécanique, sert aussi pour les mouvemens infiniment petits, pourvu que T et S puissent être regardés comme *infiniment petits*.

Dans cette équation, S ne représente pas une ligne, mais le nombre d'unités linéaires, de mètres, par exemple, qui ont été parcourus ; et, de même, T représente le nombre d'unités de temps employées à les parcourir, par exemple de secondes, si c'est la seconde que l'on prend pour unité. De cette manière, S, T,

§ 6. Relativement à l'espace absolu, un corps ne peut avoir qu'un seul mouvement à la fois : par rapport aux espaces relatifs, il peut en avoir un nombre indéfini ; car si le corps a un mouvement par rapport à un espace relatif, cet espace peut avoir un deuxième mouvement par rapport à un autre espace relatif qui lui-même peut avoir un troisième mouvement par rapport au corps et au premier espace; et ainsi de suite.

§ 7. *Si un corps qui se trouve en* A (fig. 1.) *a deux mouvemens uniformes dans les directions* AB et AC, *et que* AB *et* AC *représentent des espaces qui seraient parcourus en des temps égaux, en vertu de chacun de ces mouvemens séparés, le corps, en vertu de leur ensemble, parcourra dans le même temps, et d'un mouvement uniforme, la diagonale* AD *du parallélogramme* ABDC *qui se peut construire sur les lignes* AB *et* AC.

D'après l'article précédent, on ne peut faire prendre au corps placé en A deux mouvemens à la fois, que d'une seule manière ; savoir, en lui en donnant un dans un espace relatif, et en donnant un autre mouvement à cet espace relatif lui-même, ensemble avec le corps. Soit donc AC la ligne que le corps parcourt d'un mouvement uniforme, dans un temps donné, dans l'espace relatif où il se meut, et qu'en même-temps la ligne AC elle-même se meuve avec le corps, d'un mouvement uniforme, suivant la directrice AB, de sorte qu'après le temps donné, elle doive se trouver dans la situation BD ; on conçoit facilement que le corps, par la combinaison de ces deux mouvemens non interrompus, passe par la diagonale AD, et qu'il la parcourt d'un mouvement uniforme (1).

Si l'on fait mouvoir le corps dans la direction AB, et qu'on fasse passer cette ligne AB à la situation parallèle CD, la conséquence sera la même.

---

et leur quotient V, sont des nombres abstraits. En général, on ne peut comparer immédiatement ensemble des quantités hétérogènes, comme l'espace et le temps ; il faut d'abord les réduire chacune en unités de leur espèce ; et alors on n'a plus à comparer que des nombres abstraits. Il en est de même toutes les fois que l'on introduit dans le calcul des données physiques.

(1) Ces deux propositions se démontrent rigoureusement d'après les principes mathématiques de la Mécanique, c'est-à-dire, qu'on les déduit de l'idée abstraite des forces, par le moyen du calcul.

§ 8. On nomme les mouvemens AB et AC, *mouvemens simples* ou *latéraux;* le mouvement AD, *mouvement moyen* ou *composé*. Cette proposition très-utile et très-importante, se nomme le *théorème de la composition du mouvement.*

§ 9. Il est tout-à-fait équivalent de dire que le corps a les deux mouvemens AB et AC, ou qu'il n'a que le seul mouvement AD. On peut composer les deux mouvemens en un seul, et réciproquement décomposer chaque mouvement AD en deux autres AB et AC, dans des directions prises arbitrairement.

§ 10. En répétant l'application du théorème, un nombre quelconque de mouvemens peuvent être composés en un seul; ou un mouvement unique peut être décomposé en un nombre quelconque de mouvemens dans des directions arbitraires.

§ 11. Notre théorème peut même être appliqué aux mouvemens en lignes courbes et aux mouvemens non uniformes, si l'on se représente par AB et AC des espaces infiniment petits, qui soient aussi parcourus en des temps infiniment petits. Cette proposition peut donc ainsi s'étendre à toutes les sortes de mouvemens imaginables.

§ 12. Chaque mouvement absolu peut être considéré comme relatif, si on le rapporte à un espace limité. Chaque mouvement relatif peut être considéré comme absolu, si l'on regarde l'espace relatif comme étant en repos. Il est donc indifférent pour nous, dans tous les cas physiques, de savoir si un corps en mouvement ou en repos, l'est d'une manière relative ou absolue.

CHAPITRE VI.

Lois physiques du Mouvement, ou connaissance des Forces motrices.

§ 1. CHAQUE mouvement, et même chaque changement qui se produit dans la direction ou dans la vitesse du mouvement, doit avoir une cause, comme tout autre changement d'état des corps. Nous attribuons une force motrice au principe quel qu'il soit, que nous reconnaissons être la cause immédiate d'un changement dans l'état de repos ou de mouvement d'un corps.

§ 2. Toutes les forces motrices naturelles peuvent être comprises dans les divisions suivantes :

1.° La force de volonté des êtres animés, peut produire des mouvemens au moyen des muscles du corps. C'est la seule espèse de forces motrices que nous connaissons d'une manière immédiate, par la sensation.

2.° La mobilité de tous les corps, jointe à leur impénétrabilité, produit une force motrice; car si deux corps impénétrables se choquent l'un l'autre, il doit nécessairement arriver un changement dans leurs états respectifs; c'est-à-dire qu'ils exercent l'un contre l'autre des forces motrices opposées.

3.° Il existe encore des forces motrices dans les propriétés particulières de beaucoup de corps, entre autres dans l'élasticité des corps solides, et dans la dilatabilité des corps aériformes.

4.° Enfin, il y a beaucoup de mouvemens dont nous ignorons, ou du moins dont nous ne connaissons les causes que très-imparfaitement, ou même pas du tout. Tels sont les mouvemens produits par la pesanteur, la matière magnétique, la chaleur, l'électricité, etc. (1).

§ 3. Il est impossible, dans la réalité, de soustraire physiquement un corps à l'influence de toutes les forces motrices; mais il est possible de le faire par la pensée : cela est même nécessaire pour faciliter la théorie. Alors il ne reste que l'idée d'une masse inerte, privée de toutes forces, et qui ne peut rien changer à son propre état. D'après cette considération, la première loi à laquelle *Newton* ramena la théorie du mouvement, fut : *que le corps immobile persiste dans l'état de repos, et que le corps rendu mobile persiste dans l'état de mouvement uniforme et en ligne droite, jusqu'à ce qu'une force motrice change leurs états.* On considère cette indifférence au mouvement ou au repos, comme une propriété générale des corps, et on la nomme *force d'inertie* (2).

§ 4. La *masse* d'un corps est la quantité de matière qu'il contient : on ne doit jamais la confondre avec sa *grosseur* ou son *volume*. Dans le chapitre de la Pesanteur, nous verrons que le poids d'un corps, est la mesure de sa masse.

§ 5. La quantité du mouvement dépend en partie de la masse du

---

(1) Les mouvemens imprimés aux corps matériels, par les forces électriques et magnétiques, sont aujourd'hui parfaitement expliqués dans tous leurs détails.

(2) Il serait peut-être plus exact de désigner cette indifférence par le seul mot *inertie*.

corps mis en mouvement, et en partie de sa vitesse : cette quantité de mouvement est, pour des masses égales, dans le rapport des vitesses; et pour des vitesses égales, dans le rapport des masses : d'où il suit qu'elle est généralement comme le produit de la masse et de la vitesse (1).

§ 6. Puisque nous n'avons qu'une idée imparfaite des forces motrices en elles-mêmes, ou plutôt que nous n'en avons aucune, nous ne connaissons pas non plus de mesure immédiate de ces forces ; mais nous pouvons mesurer par leurs effets, la grandeur des mouvemens qu'elle produisent, et nous savons que la force employée doit y être proportionnelle (2). La force est donc mesurée *par le produit de la masse et de la vitesse du corps mis en mouvement* (§ 5). Telle est, en substance, la deuxième loi fondamentale du mouvement de *Newton*.

§ 7. On conçoit par là, comment les forces motrices peuvent être représentées par des nombres ou par des lignes. Cette dernière méthode est sur-tout commode, lorsque deux ou plusieurs forces agissent sur un même corps. Alors les lignes qui expriment les rapports des forces, représentent à la fois leurs directions, le rapport des vitesses qu'elles tendent à communiquer au corps, et enfin le rapport des espaces que le corps aurait parcourus, s'il eut été mu par chacune des forces séparément.

§ 8. La troisième loi fondamentale du mouvement, découverte par

---

(1) Soient F la force qui imprime à la masse M, la vitesse V ; f la force qui imprime à la masse m, la vitesse v : je dis qu'on aura $F : f = M.V : m.v$. En effet, concevons une force φ qui, agissant sur la masse M, lui communique la vitesse v ; on aura ces proportions $F : \varphi = V : v$; $\varphi : f = M : m$ dont le produit conduit à la précédente. Si l'on suppose $v = 1$, $m = 1$ et la force motrice correspondante $f = 1$, on obtiendra $F = M \times V$.

(2) Cette proportionnalité n'est ni évidente par elle-même, ni nécessaire. On peut concevoir une infinité de lois mathématiques du mouvement dans lesquelles la vitesse ne serait pas proportionnelle à la force; mais les phénomènes qui en résultent dans la composition des mouvemens, diffèrent de ceux que l'état actuel de l'univers nous présente, et ceux-ci se passent comme si la vitesse était proportionnelle à la force. Cette loi est donc la seule qui doive être admise physiquement ; mais on voit par là qu'elle est de vérité contingente. (*Voyez* le *Système du Monde* de M. *Laplace*, et la *Mécanique céleste* du même auteur, où cette théorie est développée.)

Newton, est la suivante : *Lorsque deux corps agissent l'un sur l'autre, leurs actions et leurs réactions sont toujours égales;* c'est-à-dire, si le mouvement d'un corps devient lui-même une force motrice par la pression ou par le choc que ce corps produit sur un autre corps, les deux corps subissent un effet égal, mais opposé. Autant l'un gagne en mouvement, autant en perd l'autre, puisque la force doit être égale à son effet.

CHAPITRE VII.

Aperçu historique sur ce qui est connu de la Pesanteur.

§ 1. La pesanteur est, par ses effets, la plus importante de toutes les forces naturelles mécaniques : sa cause est entièrement ignorée; mais nous connaissons ses lois plus exactement que celles d'aucune autre force naturelle. Comme l'explication de ses effets, est un des objets principaux de la Physique mécanique, il est à propos de les exposer dans toute leur étendue. Cependant, la plupart de ses effets ne peuvent être rapportés ici qu'historiquement; car une partie des moyens par lesquels les physiciens ont déterminé les lois de la pesanteur, ne doivent être exposés que dans la suite de cet Ouvrage, et le reste n'appartient point à la Physique mécanique, mais à l'Astronomie.

§ 2. Le premier effet de la pesanteur, que nous ayons à considérer, est la pression dirigée vers la terre, que chaque corps exerce sur les corps placés au-dessous de lui. Cette pression dont l'intensité déterminée s'appelle le *poids* du corps, peut être mesurée très-exactement au moyen des balances; elle est invariable, quelques changemens qui puissent se faire dans la forme, la position, l'extension et les propriétés chimiques du corps, pourvu cependant qu'aucune matière pondérable ne lui soit ni enlevée ni ajoutée. Cette circonstance autorise à conclure que le poids d'une corps, dépend seulement de la quantité de matière corporelle qu'il contient, par conséquent que la masse doit lui être proportionnelle (chap. VI, § 4) (1).

(1) Pour ne rien faire entrer dans la définition de la masse, qui dépende de la

§ 3. L'expérience nous apprend que lorsque plusieurs corps sont *homogènes*, c'est-à-dire absolument identiques dans leur nature et leur constitution, les poids de ces corps sont entre eux comme leurs volumes; mais cette proportionnalité n'a plus lieu entre les poids des corps qui sont *hétérogènes*, soit par leur nature, soit par l'effet des circonstances où ils sont placés; de là naît l'idée de la *densité* qu'on nomme aussi *poids spécifique*, ou *poids propre* du corps, qui est le poids de l'unité de volume Le poids spécifique est donc le rapport du poids absolu d'un corps, au poids absolu d'un autre corps pris pour unité.

§ 4. Pour l'estimation du poids spécifique en nombres, on emploie deux sortes d'unités. Pour les corps solides et les liquides, on prend le poids de l'eau pure comme unité; on pèse un corps d'un volume donné, et on détermine le poids d'un même volume d'eau. On divise le premier poids par le second, et l'on a le poids spécifique du corps (1). Cette évaluation a l'avantage d'être indépendante de toutes les différences des poids et des mesures. Les physiciens ont beaucoup de moyens pour estimer les poids spécifiques des corps. Les méthodes les plus exactes et les meilleures seront exposées quand nous traiterons de l'Hydrostatique.

§ 5. Pour les corps aériformes, on prend communément le poids d'un pouce cubique du gaz lui-même; mais cette espèce d'évaluation

---

constitution des corps, on doit entendre par points matériels égaux en masse, ceux qui, animés de vitesses égales et opposées, se feraient exactement équilibre. La même définition s'étend aussi aux masses égales. Par exemple, cette égalité a lieu pour des masses qui se font équilibre dans les deux plateaux d'une balance dont les deux bras sont égaux.

(1) Soit P le poids absolu d'un corps, exprimé en unité de poids d'une espèce déterminée, par exemple en grammes : soit A le poids absolu d'un égal volume d'eau, exprimé de la même manière : soit enfin 1 la pesanteur specifique d'un volume d'eau distillée, qu'on pourra prendre pour unité de volume : en nommant X le poids spécifique du corps, c'est-à-dire, celui d'une unité de volume de ce corps, on aura la proportion $A : P = 1 : X$; par conséquent $X = \frac{P}{A}$. Il n'est donc plus nécessaire de réduire tous les corps au même volume; il suffit que l'eau et le corps qu'on lui compare actuellement, s'y trouvent réduits, puisque c'est tout ce qu'il faut pour évaluer le rapport entre leurs poids.

est soumise aux différences des poids et des mesures que l'on veut employer. Nous ne pouvons parler que dans l'Aréométrie, des méthodes qui servent à la déterminer.

§ 6. Si un corps pesant n'est pas soutenu, il tombe avec un mouvement croissant ou accéléré dont nous examinerons les lois dans la Mécanique. On nomme la direction de la chute, *ligne-à-plomb* ou *verticale*. Une surface ou une ligne à laquelle cette direction est perpendiculaire, s'appele *surface*, ou *ligne horizontale*. C'est celle que prend naturellement, dans chaque lieu, la surface des eaux tranquilles. De là viennent les idées de haut et de bas.

§ 7. Lorsque nous comparons les directions de la pesanteur dans des lieux très-voisins les uns des autres, elles nous paraissent absolument parallèles; mais la connaissance plus exacte du globe terrestre a appris qu'elles sont partout effectivement dirigées vers le centre de la terre.

§ 8. *Dans un espace vide d'air, tous les corps tombent avec une vitesse égale*. Cette loi se confirme très-bien par la théorie du pendule. Dans cette loi se trouve la démonstration rigoureuse, que les masses des corps sont proportionnelles à leur poids (chap. VI, §§ 4, 5, 6). Un corps qui tombe sans obstacle, parcourt dans la première seconde un espace égal à 15 pieds $\frac{1}{10}$ ou $4^{m},9044$ (1). On doit aussi cette connaissance à la théorie du pendule.

§ 9. Tant qu'on reste dans le même lieu, la pesanteur est invariable. Les observations du pendule ont confirmé l'assertion de *Newton*, que la pesanteur ne doit pas être la même par toute la terre, et que son intensité doit être plus faible à l'équateur que vers les pôles. Cette variation résulte de ce que la terre n'est pas tout-à-fait sphérique. Mais comme la quantité dont elle diffère de la sphère, est très-peu considérable, l'inégalité qui en résulte dans la pesanteur, est pareillement très-petite.

§ 10. On a trouvé la pesanteur un peu moindre sur les montagnes très-élevées que dans les plaines. Cette observation aurait conduit naturellement à penser que la pesanteur décroît à mesure que l'on s'éloigne de la terre, si *Newton* n'avait déjà fait cette découverte d'une autre manière.

---

(1) Ce nombre est celui qui convient à la latitude de Paris.

§ 11. *Newton*, par une connaissance profonde des lois générales du mouvement, et de ce que deux mille années de recherches et d'observations avaient appris sur les mouvemens des corps célestes, démontra qu'une attraction réciproque existe entre tous les corps de la nature, et qu'elle est en raison directe de la masse du corps qui attire, et en raison inverse du carré de la distance du corps attiré. Puis, en comparant par le calcul, la force qui retient la lune dans son orbite autour de la terre, avec la force qui fait tomber ici-bas les corps vers la surface terrestre, il prouva que cette dernière pesanteur n'est autre chose qu'un cas particulier de cette attraction commune à tous les corps, qu'il nomma, par cette raison, *gravitation universelle*.

§ 12. *Newton* nous a montré la force de la pesanteur sous des rapports très-élevés et très-importans. C'est elle qui donne et qui conserve à chaque corps du monde sa forme particulière. C'est elle qui lie ensemble toutes les parties de chaque corps, de manière qu'aucune parcelle de matière pondérable ne puisse être perdue. C'est elle qui unit en un tout immense les corps dont l'univers se compose, et qui contient leurs mouvemens dans un ordre et une harmonie éternels. Si le Créateur rompait ce lien invisible, toute la nature retomberait à l'instant dans le chaos.

DEUXIÈME SECTION.

DES CORPS SOLIDES.

CHAPITRE VIII.

Propriétés générales des corps solides.

§ 1. Les parties d'un corps solide se tiennent entre elles, de sorte qu'il faut faire un effort pour les séparer, ou seulement pour changer leurs positions respectives. Le corps solide a, par cette raison, une forme particulière déterminée. La force qui joint ses différentes parties, se nomme la *force de cohésion*. Plusieurs physiciens parmi lesquels nous citerons particulièrement *Musschenbrock* et *Buffon*, ont fait sur cette force de nombreuses expériences.

Le premier fit fondre des barres de métal équarries, dont chaque côté était large de 0, 17 pouces du Rhin, ou 0^m, 0043, et il y suspendit successivement des poids jusqu'à ce qu'il parvînt à les rompre; il fallut employer,

Pour le fer d'Allemagne	1930 livres
l'argent fin	1156
le cuivre de Suède	1054
l'or fin	578
l'étain d'Angleterre	150
l'étain de Malacca	91
le plomb d'Angleterre	25

Des expériences semblables faites avec des bâtons de bois dont les côtés étaient de 0, 27 pouces du Rhin, ou 0^m, 0068, donnèrent les résultats suivans :

Pour rompre le bois de hêtre, il fallut	1250 livres
le bois de chêne	1150
le bois de tilleul	1000
le bois de sapin	600
le bois de pin	550

(*V.* les *Diction. de Physique* de Gehler et de Fischer, art. *Cohésion.*)

La force de cohésion des métaux ductiles, est augmentée par des coups de marteau modérés; mais des coups trop forts la diminuent; elle est affaiblie par la chaleur, et accrue par le froid. En général, la cohésion est une force variable qui peut être changée de diverses manières par un grand nombre de moyens chimiques et mécaniques. On trouve plusieurs remarques sur ce point dans le livre intitulé : *Erxleben-Lichtenbergische Naturlehre*, 5.e édit., pag. 33, § 27.

§ 2. La propriété qu'ont les particules de pouvoir changer leurs positions respectives sans se désunir, n'est pas toujours proportionnelle à la propriété qu'elles ont de pouvoir être séparées. C'est ce qui donne lieu aux diverses qualités des corps solides, qu'on désigne par les mots, pour la plupart assez vagues, de *dur*, *mou*, *tenace*, *friable*, *roide*, *flexible*, etc.

§ 3. La force de cohésion manifeste encore son effet lorsque les corps sont divisés en petits fragmens. Il paraît que tous les corps, lorsqu'on les met en contact, ont une tendance à s'attacher les uns aux autres, à moins que le contact ne soit très-imparfait, ou que le poids des corps, ne rende cet effet insensible. Cette propriété se nomme *adhésion* : elle se distingue de la cohésion, parce qu'elle s'exerce aussi bien sur les corps hétérogènes que sur les corps homogènes, tandis que la cohésion, proprement dite, n'a lieu qu'entre des corps homogènes (1).

§ 4. L'attraction qui existe entre deux corps hétérogènes, ainsi que nous l'avons remarqué ci-dessus, se nomme proprement *affinité*.

L'adhésion n'est donc pas une force particulière; mais elle est, ou une cohésion faible, ou une faible affinité.

§ 5. Nous connaissons maintenant trois sortes d'attractions qui agissent sur toutes les substances matérielles : ce sont la *pesanteur*, la *cohésion* et l'*affinité*. La cause de ces attractions nous est entièrement inconnue; nous ignorons même si elles dépendent d'une seule ou de plusieurs causes; mais les phénomènes qu'elles produi-

---

(1) L'adhésion et la cohésion ne paraissent pas devoir être regardées comme des forces distinctes, mais plutôt comme des modifications, ou même simplement des effets analogues de l'affinité qui sollicite les particules les unes vers les autres.

sent, sont si différens, que la Logique nous engage à leur attribuer des causes variées, jusqu'à ce qu'il soit devenu évident qu'elles agissent d'après une unique loi (1).

§ 6. Il paraît que c'est une propriété commune à tous les corps solides, de pouvoir être comprimés. A la vérité, l'effet de la compression est si faible sur les corps très-solides, qu'on peut le plus souvent le regarder comme nul; mais on peut concevoir encore qu'il existe même dans ce cas. On nomme cette propriété *compressibilité.*

§ 7. Quelques corps conservent, lorsque la pression cesse, la forme qu'ils ont reçue par elle; d'autres tendent à reprendre leur première forme et le premier espace qu'ils remplissaient. Ces derniers sont nommés *élastiques.* L'élasticité a une grande influence sur les phénomènes du mouvement, et nous devons, par cette raison, en donner une idée plus précise.

§ 8. Un corps élastique tend toujours à reprendre sa forme et son volume. S'il est pressé à un endroit, il s'étend dans une autre direction, où il se trouve libre; s'il est étendu, il se resserre dans un autre sens; s'il est courbé et abandonné ensuite à lui-même, il retourne promptement à sa première situation (2).

§ 9. Il paraît qu'il n'existe pas plus de corps parfaitement élastiques,

---

(1) Il est très-vraisemblable que les lois de l'affinité chimique, diffèrent de la loi de la pesanteur. Cette dernière force est réciproque au carré de la distance; et sans connaître la nature de l'affinité, on voit que son action décroît beaucoup plus rapidement, de manière à cesser d'être sensible à des distances très-petites; à la vérité, une force réciproque au carré de la distance, lorsqu'elle anime les divers points d'un corps, peut produire des résultantes d'actions, dépendantes de sa figure, et dont l'intensité décroît très-vite : c'est ainsi que la précession des équinoxes produite par les attractions du soleil et de la lune, sur le sphéroïde aplati de la terre, décroît comme le cube de la distance, c'est-à-dire, serait huit fois moindre, si ces corps étaient deux fois plus éloignés. Mais il est difficile de penser qu'il n'existe point d'autre différence essentielle que celle de la figure, entre des particules de propriétés aussi diverses que celles qui composent les corps.

(2) Cette restitution de forme, se fait par des oscillations décroissantes des molécules, jusqu'à l'état de repos, à-peu-près, comme il arrive à une corde tendue entre deux point fixes, que l'on pince pas son milieu et qui vibre pendant un certain temps. Dans les corps durs et élastiques, cet effet paraît instantané : sa durée est plus longue dans les autres.

que de corps parfaitement non élastiques; mais chaque corps solide possède cette propriété à un degré plus ou moins grand. Les corps les plus élastiques sont : l'acier trempé, le laiton battu, l'ivoire, l'os, le bois sec, la gomme élastique, etc. Les corps les moins élastiques sont : les métaux les plus mous, l'étain, le plomb, l'or, l'argent, l'argile molle, etc., etc. Au reste, on ne doit pas confondre cette propriété des corps solides avec la *dilatabilité* des corps aériformes, qu'on a coutume de nommer aussi *élasticité* (1).

§ 10. On peut s'apercevoir, à la simple vue, que beaucoup de corps solides sont poreux; d'autres sont reconnus tels par les expériences; mais il y a aussi beaucoup de corps solides, tels que le verre, les métaux bien fondus, etc., dont la porosité ne peut être démontrée ni par le secours de la loupe, ni par aucun autre moyen physique: même, dans beaucoup de corps, les phénomènes semblent absolument contraires à l'hypothèse de la porosité (2). Aussi, d'après les lois de la Dynamique, la porosité n'est-elle pas nécessaire pour expliquer les diverses densités des corps.

CHAPITRE IX.

De la construction intérieure des Corps solides.

§ 1. Une grande partie des corps solides, si même ils ne sont tous dans ce cas, paraissent former un certain assemblage régulier de petites parties. La régularité des fragmens de beaucoup de minéraux; la superposition des lames ou feuillets dans les cristaux transparens; la facilité avec laquelle beaucoup de corps se rompent ou se fêlent en de certaines directions plutôt qu'en d'autres; la rupture des larmes de verre, appelées bataviques; celle de la bouteille de *Bologne*, etc., etc., sont des faits qui confirment cette remarque.

(1) Les phénomènes de l'élasticité ont été l'objet de très-belles expériences faites par *s'Gravesande* et ensuite par *Coulomb*. *Voyez* le *Traité de Physique* de Biot, tome I, page 466 et suivantes.

(2) Il est présumable que l'auteur ne veut parler ici que de ce qui *semble*, et non de ce qui *est* en réalité; car je ne crois pas que l'on connaisse aucun phénomène qui ne soit au fond très-conciliable avec les idées de la porosité.

§ 2. Les découvertes de M. *Haüy* donnent l'idée la plus exacte de la structure des cristaux. Cette idée est d'autant plus importante, que la cristallisation paraît être une loi générale de la nature. La cristallisation consiste en ce que, dans le passage de l'état fluide à l'état solide, chaque corps prend une forme régulière et déterminée.

§ 3. D'après les recherches de M. *Haüy*, tout cristal formé naturellement ou artificiellement, se laisse fendre et subdiviser suivant certains plans, avec plus de facilité que dans toute autre direction. Cette opération, différente pour chaque cristal, s'appelle le *clivage*. Si l'on continue de l'effectuer dans tous les sens où elle est possible, en enlevant successivement les lames qui en résultent, jusqu'à ce qu'il ne reste rien de la surface extérieure, on obtient un *noyau* qui a ordinairement une forme différente de celle qu'avait le cristal entier, et que des subdivisions subséquentes ne feraient que rendre plus petit, sans changer la direction des plans qui le terminent. M. *Haüy* nomme la forme du cristal entier, *forme secondaire;* celle du noyau, *forme primitive*. Le noyau lui-même peut être divisé en corpuscules de même forme, qu'il appelle *molécules intégrantes*. Les feuillets détachés se composent aussi de molécules semblables, comme leur clivage le prouve, et, par conséquent, le cristal entier en est formé. M. *Haüy* suppose que ces molécules intégrantes sont elles-mêmes un petit cristal dont la configuration est déterminée par la combinaison des molécules élémentaires qui constituent les principes du cristal entier. Il n'existe pas encore d'expérience qui puisse vérifier cette opinion.

§ 4. Jusqu'à présent, M. *Haüy* n'a trouvé que trois formes de molécules intégrantes, la pyramide triangulaire, le prisme trièdre, et le prisme quadrangulaire. Il a reconnu seulement six formes primitives : le parallélipipède, l'octaèdre, le tétraèdre, le prisme hexaèdre, le dodécaèdre rhomboïdal, le dodécaèdre triangulaire. Les formes secondaires varient à l'infini, par l'agrégation régulière des formes primitives.

§ 5. Il est extrêment remarquable que les cristaux d'une même substance, ont un noyau et des molécules intégrantes de même forme, tandis qu'au contraire leur forme extérieure peut varier d'une infinité de manières qui souvent se trouvent réalisées en grande partie dans les produits de la nature (1).

---

(1) Il paraît que l'arragonite fait exception à cette règle. Sa cristallisation

§ 6. La forme régulière des cristaux, et la propriété qu'ils ont de se laisser facilement diviser suivant certains sens, indiquent que la force de cohésion n'exerce pas son pouvoir au même degré dans tous les points de leurs molécules ; mais que ces molécules ont de certains pôles d'attraction qui, d'après leur plus grande force attractive, déterminent leur disposition (1).

§ 7. Lorsqu'on fait passer artificiellement des corps fluides à l'état de corps solides, ceux-ci se forment toujours en cristaux réguliers; seulement ces cristaux sont quelquefois si petits, qu'il faut un microscope pour les apercevoir. Si tous les corps solides, comme cela n'est pas hors de vraisemblance, ont passé d'abord par l'état fluide, on est fondé à croire que leur décomposition exacte, et portée jusque dans leurs moindres particules, ferait reconnaître une pareille régularité dans leur structure intérieure.

Pour connaître parfaitement la théorie de la cristallisation, *voyez* la *Minéralogie* de M. *Haüy*.

CHAPITRE X.

De l'équilibre des Corps solides, ou premiers fondemens de la Statique.

§ 1. Nous avons ici deux cas à examiner : 1.° celui dans lequel les forces agissent sur un corps libre, c'est-à-dire, qui n'est assujéti d'aucune manière; 2.° celui où elles agissent sur un corps assujéti, de sorte qu'il peut se mouvoir autour d'un point ou autour d'un axe fixe.

---

diffère de celle du spath calcaire, quoique ses principes chimiques paraissent être les mêmes.

(1) Il y a un certain nombre de cristaux dont le clivage est également facile ou difficile dans toutes les directions où il est possible ; si de plus les faces de clivage sont également nettes, et d'un aspect pareil, on regarde cette égalité comme l'indice d'une symétrie dans les faces correspondantes de la molécule primitive : en général, la direction des plans de clivage et les caractères des faces, composent ce que l'on nomme le système cristallin, et forment des indices auxquels on conforme la molécule intégrante.

Équilibre des Corps libres.

§ 2. Lorsqu'un point matériel est sollicité en même-temps par deux forces égales, mais opposées l'une à l'autre sur la même ligne, par exemple, par les forces AB et AC, (*fig.* 2) (pag. 19, § 7), ce point matériel ne peut prendre aucun mouvement. Dans ce cas, le repos qui résulte de la destruction mutuelle des deux forces, se nomme *équilibre*. Des forces inégales, opposées de la même manière, produisent un mouvement vers le côté où tend la plus grande force.

§ 3. Lorsque deux forces AB et AC, (*fig* 3), agissent en directions diverses sur le corps A, il ne peut obéir à toutes deux en même-temps, si ce n'est en parcourant la diagonale AD du parallélogramme ABDC (pag. 16, § 7). Les deux forces produisent donc exactement ce que produirait une seule force AD.

§ 4. Sur cela se fondent la *composition* et la *décomposition* des forces motrices. Au lieu des deux forces AB et AC (*fig.* 3) on peut trouver une force unique AD, qui leur est équivalente. AB et AC se nomment les *forces simples* ou *composantes*, et AD la *force résultante* ou *composée*. Réciproquement, on peut décomposer chaque force simple AD, en deux forces AB et AC, prises suivant des directions arbitraires, et qui agiront precisément comme fait cette force. De là vient la dénomination de *Parallélogramme des forces*. Il est facile de concevoir comment plus de deux forces peuvent se composer en une seule, et comment une seule force peut se décomposer en plus de deux.

§ 5. Si trois forces AB, AC et AE tiennent en équilibre un corps A, (*fig.* 3), il faut que la troisième AE soit dans la direction prolongée de la diagonale AD; et elle doit avoir, par rapport aux deux autres, la même grandeur que la diagonale AD, relativement aux deux lignes latérales AB et AC. On voit aisément, au moyen de cette proposition, comment, pour chaque quantité de forces données, on peut en trouver une qui soit équivalente à toutes.

Équilibre des Corps qui se meuvent autour d'un point fixe.

§ 6. Soit LM (*fig.* 4) un corps sans pesanteur, qui peut tourner autour d'un point fixe C auquel il est attaché. Si ce corps est sollicité par une seule force AC, dont la direction passe par ce point C, l'équilibre a lieu, soit que cette force tende vers le point C, soit qu'elle s'en éloigne (pag. 19, § 8). Car, dans ces deux cas, son effet se trouve

également détruit par la résistance du point fixe. Mais toute force dont la direction ne passe pas par ce point, produira un mouvement de rotation (1).

§ 7. Soient deux forces que nous nommerons P et Q, appliquées à un autre point A du corps, et agissant dans les directions AP et AQ : supposons encore que le plan des deux droites AP et AQ, contienne le point fixe C : formons, à partir du point C, le parallélogramme ABCD. Il est facile de voir qu'alors il y aura équilibre, si P : Q = AB : AD (*Voyez* §§ 3 et 6.)

§ 8. Si l'on mène du point E les lignes CE et CF perpendiculaires à la direction des forces, on démontre par des propositions géométriques connues, que AB : AD = CE : CF; par conséquent P : Q = E : CF (2).

§ 9. Il y aurait de même équilibre, si les deux forces P et Q, appliquées au point A, étaient dirigées en d'autres sens, par exemple vers les points G′ et H′ pris sur les prolongemens de QA et de PA, pourvu que leur rapport restât le même, et que leur plan passât toujours par le point fixe C. Ces conditions étant remplies, il serait même indifférent que le point A où se coupent leurs directions, fût placé au-dedans ou au-dehors du corps LM; et si A était au-dehors du corps, la distance à laquelle il se trouverait, ne produirait aucune différence : il pourrait donc être même éloigné à l'infini; ce qui revient à dire que AP et AQ pourraient être parallèles.

Dans tous les cas, sans exception, il y a équilibre lorsque....... P : Q = CE : CF, pourvu que le plan des deux forces contienne le point fixe.

§ 10. De cette proportion, en égalant le produit des extrêmes à celui des moyens, on tire P × CF = Q × CE.

Les perpendiculaires CE, CF, se nomment les *distances des forces;* et le produit d'une distance, par la force qui lui appartient, se nomme le *moment statique,* ou simplement *le moment* de cette force. On peut,

---

(1) On peut concevoir que le point C est celui dans lequel un axe fixe est renconteé par le plan des forces P et Q, et qu'il est le seul point de l'axe, sur lequel s'appuie les corps. On peut encore supposer le point d'appui en C, sur le prolongement de la diagonale AC.

(2) Les triangles BCF et DCE ont en F et en E des angles droits, et en CBF et CDE des angles égaux; car chacun de ces derniers est égal à BAD : par conséquent ces triangles sont semblables, et l'on a DC : BC = CE : CF; donc AB : AD = CE : CF, ou P : Q = CE : CF.

par conséquent, exprimer la condition de l'équilibre de la manière suivante : *Pour que deux forces* P *et* Q *tiennent en équilibre un corps qui peut se mouvoir autour d'un point fixe* C, *il est nécessaire et il suffit que leurs momens par rapport à ce point, soient égaux* (1).

§ 11. Si plus de deux forces agissent sur un même corps LM, on considère séparément les forces qui tendent à faire tourner le corps dans un sens, et celles qui tendent à le faire tourner dans le sens contraire. *L'équilibre a lieu lorsque la somme des momens des forces qui tendent à faire tourner le corps dans un sens, est égale à la somme des momens des forces qui tendent à le faire tourner dans le sens opposé.*

§ 12. Sur ces propositions (§§ 6—11) se fonde la théorie entière des poulies, des roues et des leviers (2); mais son exposition détaillée appartient à la science des Machines.

CHAPITRE XI.

Du centre de gravité des Corps.

§ 1. La pesanteur de chacune des particules d'un corps solide, peut être considérée comme une force qui agit sur lui en direction verticale. Si l'on essaie de placer un corps AB, (*fig.* 5) sur un support CD qui ait une pointe aiguë, on conçoit, d'après la théorie de l'équilibre présentée ci-dessus, qu'il doit y avoir dans le corps un point qui,

(1) Si le corps se mouvait effectivement autour du point C, les vitesses de rotation des points F et E seraient comme FC à EC : si l'on nomme V la vitesse du point F, et V' celle du point E, on aura $V : V' = CF : CE$; par conséquent $P : Q = V' : V$ et $P \times V = Q \times V'$. Le produit $P \times V$ ou $Q \times V'$ de chaque force, par sa *vitesse virtuelle*, se nomme le moment mécanique de cette force. On peut, par conséquent, dire aussi que l'équilibre subsiste, quand les momens mécaniques ou dynamiques des forces P et Q sont égaux.

(2) Toutes les parties du corps M étant en équilibre autour du point fixe C, entre les forces P et Q (*fig.* 4), il en sera de même d'une verge BCD coupée dans la masse M, et supposée sans pesanteur ; de sorte que ne retenant du corps M que cette verge ou *levier mathématique*, dont le point d'appui est en C, on connaît la condition nécessaire pour son équilibre, quelle que soit d'ailleurs la forme de ce *levier fictif*.

étant soutenu, mettra le corps en entier en équilibre. Cette conclusion est toujours exacte, en quelle direction que le corps soit placé sur le support. En faisant cette expérience dans trois directions perpendiculaires les unes aux autres, on déterminera le point unique qui, étant soutenu, tiendra tout le corps en équilibre. Ce point s'appelle le *centre de gravité* du corps, ou le *centre de sa pesanteur*.

§ 2. Lorsque le centre de gravité est soutenu, l'appui supporte tout le poids du corps, comme si toute la pesanteur était réunie dans ce seul point. Cette supposition est vraie relativement à l'équilibre; mais elle n'a pas toujours lieu dans l'état de mouvement. On peut l'employer dans la Statique; mais dans la Mécanique elle pourrait conduire à de fausses conséquences.

§ 3. Il ne faut pas confondre le centre de gravité avec le centre de figure. Ils coïncident seulement dans les corps de densité uniforme; mais pour les corps de densité variable, le centre de gravité est toujours plus rapproché de la partie qui est plus dense; même le centre de gravité n'est pas toujours dans l'intérieur du corps. Par exemple, pour les anneaux et pour beaucoup d'autres corps, il est placé au-dehors.

§ 4. Le centre de gravité peut être soutenu de deux manières : en dessus, si le corps est suspendu; en dessous, s'il est posé. Lorsqu'un corps est suspendu à un fil, le centre de gravité est toujours dans la direction prolongée du fil. De cette manière, on peut trouver le centre de gravité d'un corps plus promptement que par la méthode exposée dans le § 1, en attachant un fil à deux endroits d'un corps, et en suspendant celui-ci successivement dans les deux directions correspondantes.

§ 5. Lorsqu'un corps est posé, sa situation est d'autant moins assurée que la surface soutenue est plus petite, et que le centre de gravité se rapproche moins du milieu de cette surface (1).

---

(1) On a distingué entre l'*équilibre stable* et l'*équilibre instantané* : le premier a lieu, lorsque le centre de gravité du système, est le plus bas qu'il peut être, et le second, quand le centre est le plus haut : c'est-à-dire, que si, dans le dernier cas, on vient à écarter le système tant soit peu de sa position d'équilibre, au lieu de tendre à y revenir, il s'en éloigne de plus en plus; tandis que, dans le premier, il oscille autour de la position d'équilibre, à laquelle il tend à revenir et il revient en effet.

§ 6. Quand la forme d'un corps est variable, comme il arrive dans les corps des hommes et des animaux, le point où se trouve le centre de gravité, est variable aussi. Lorsqu'un homme se tient debout, et que ses mains tombent également des deux côtés, son centre de gravité se trouve dans le bas-ventre, à-peu-près entre les deux hanches (1). On peut juger, par ce qui précède, que cette situation est la plus assurée du corps ; et on peut expliquer ainsi les mouvemens presque involontaires qu'on fait pour éviter la chute.

§ 7. Il y a une infinité de jeux physiques dont l'explication dépend du centre de gravité : comme ils sont instructifs, ils méritent quelque attention. De ce nombre sont le cylindre montant sur un plan incliné ; le double cône qui paraît s'élever contre l'effort de la pesanteur ; le petit sauteur, etc. L'art périlleux qu'exercent les danseurs de corde, se rapporte encore à cette théorie.

§ 8. Mais ce qui est plus important pour le physicien, c'est l'application du centre de gravité à la théorie des balances.

CHAPITRE XII.

De la chute libre des Corps pesans, et en général des lois du mouvement uniformement accéléré.

§ 1. La Mécanique, c'est-à-dire, la connaissance du mouvement des corps, est devenue peu à peu une science tres-étendue et assez difficile en de certaines parties. Nous allons, par cette raison, expliquer seulement quelques-uns des mouvemens les plus remarquables.

Chute des Corps pesans.

§ 2. Lorsqu'un corps tombe librement par la seule action de la pesanteur terrestre, sa vitesse croît à chaque instant, parce que la pesanteur agit continuellement sur lui durant la chute ; mais comme la pesanteur dans chaque point de la terre, et pour de petites hauteurs de chute, peut être considérée comme une force invariable (pag. 22, § 9), la vitesse d'un corps tombant, doit s'accroître préci-

(1) Il est dans la cavité du bassin, au devant de la dernière vertèbre lombaire.

sément autant dans un instant que dans un autre. C'est pour cela qu'on dit que la chute du corps a un *mouvement uniformement accéléré*.

§ 3. La chute d'un corps est beaucoup trop rapide pour que les lois de son mouvement puissent être étudiées par une observation immédiate. Mais la machine inventée par *Atwood*, donne un moyen commode pour retarder la chute; de sorte que, sans changer les lois essentielles du mouvement, on peut en observer les circonstances de seconde en seconde (1).

§ 4. Au moyen de cette machine, on remarque :

1°. *Que dans chaque mouvement uniformement accéléré, l'espace croît comme le carré du temps.* Si donc l'on nomme g l'espace que parcourt le corps dans la première seconde, quelque grand ou petit qu'il puisse être, et qu'on désigne par E le chemin qu'il parcourt en T secondes, on a $E = g\ T^2$.

2°. *Que les vitesses suivent le rapport des temps, et qu'on trouve la vitesse du corps à la fin de chaque seconde, en multipliant par le temps le double du chemin fait durant la première seconde.* Si l'on nomme donc V la vitesse que le corps acquiert en T secondes, on a $V = 2g\ T$.

3°. De ces principes se déduit naturellement cette conséquence, *que les espaces parcourus croissent comme les carrés des vitesses* (2).

---

(1) On trouve une description de l'appareil d'*Atwood* dans les *Annales de Physique* de *Gilbert*, 1803, 5.e n.°, pag. 1.

Voyez aussi la *Mécanique* de M. *Poisson*, tom. II, pag. 47, ou le *Précis de Physique* de *Biot*, tom. I, pag. 58.

(2) Les lois du mouvement uniformément accéléré, sont d'une utilité trop générale en Physique, pour que nous ne cherchions pas à les établir par la théorie.

Soit E l'espace parcouru par un corps grave, pendant le temps T, en vertu de l'action de la pesanteur; concevons le temps T partagé en un nombre quelconque n d'intervalles égaux entre eux, dont chacun soit désigné par t; en sorte que l'on ait $T = nt$. Nous pouvons assimiler le mouvement cherché à celui d'un corps sans pesanteur, qui recevrait, à la fin de chacun des instans t, $2t$, $3t$, etc. une impulsion capable de lui faire décrire uniformément l'espace v dans l'unité de temps : cette comparaison sera d'autant plus approchée de la vérité, que les intervalles t qui séparent les impulsions successives de la force, deviendront moindres; et enfin l'erreur disparaîtra tout-à-fait dans les résultats qui seront indépendans de la valeur absolue de ces instans. Suivons donc les conséquences de notre sup-

§ 5. Pour pouvoir indiquer en nombre toutes les circonstances d'un mouvement uniformément accéléré, il faut seulement connaître g,

---

position, et analysons les effets que ces chocs successifs auront produits sur le mobile, à la fin du temps t.

L'instant o est celui du départ. Le mobile reçoit alors une impulsion capable de lui faire décrire l'espace v dans l'unité de temps. Cette première impulsion agit sur lui, pendant le temps T; elle lui fera donc décrire dans cet intervalle l'espace vT.

A l'instant suivant t, le mobile reçoit encore une nouvelle impulsion égale à la précédente; mais elle n'agit que pendant le temps $T - t$; elle lui fait donc décrire l'espase $(T - t)\,v$.

En examinant ainsi les espaces que lui font décrire les impulsions successives jusqu'à la fin du temps T, on voit que ces espaces forment la progression arithmétique décroissante.

$$Tv;\ (T-t)\,v;\ (T-2t)\,v\ \ldots\ldots\ tv,$$

dont le nombre des termes est égal à celui des instans t, c'est-à-dire, égal à n. En mettant pour T sa valeur nt, cette progression devient

$$ntv;\ (n-1)\,tv;\ (n-2)\,tv;\ \ldots\ldots\ tv.$$

La somme de ces espaces partiels est l'espace total réellement parcouru par le mobile. Or, cette somme est $\frac{n\,(n+1)\,tv}{2}$. Nous avons représenté cet espace par E; on a donc

$$E = \frac{n.(n+1.)\,tv}{2};$$

ou, en remettant pour n sa valeur $\frac{T}{t}$,

$$E = \frac{T\,(T+t)}{2} \times \frac{v}{t}.$$

Désignons par g l'espace parcouru de cette manière par le mobile dans l'unité de temps, et supposons que T soit commensurable avec cette unité. On pourra de même diviser l'unité de temps en un nombre n' d'intervalles égaux entre eux et à t; et en reprenant le raisonnement de la même manière, pour ce second cas, on trouvera

$$g = \frac{1.(1+t)}{2} \times \frac{v}{t};$$

d'où l'on tire

$$\frac{E}{g} = T \times \frac{(T+t)}{1+t};$$

c'est-à-dire, l'espace que parcourt le corps dans la première seconde. On voit, au moyen de la machine d'*Atwood*, citée précédemment,

---

ou, ce qui revient au même,

$$\frac{E}{g} = T^2 - \frac{T(T-1)t}{1+t}.$$

Plus t sera petit, plus le facteur $\frac{t}{1+t}$ diminuera, et par conséquent plus le rapport $\frac{E}{g}$ approchera d'être égal à T^2. Or, par supposition, t est l'intervalle de temps qui s'écoule entre les impulsions successives de la force ; et cet intervalle est tout-à-fait imperceptible à nos sens, dans le cas de la pesanteur. Ainsi, pour nous plier à ce cas, il faut supposer $t = 0$, ce qui donne

$$E = g\,T^2,$$

c'est-à-dire que, dans le mouvement uniformément accéléré, les espaces parcourus sont proportionnels aux carrés des temps.

Examinons maintenant la valeur de la vitesse acquise après le temps T. Soit V cette vitesse ; elle sera égale à la somme de toutes les impulsions imprimées au mobile pendant le temps T. Or, puisque $T = nt$, il est clair que le mobile reçoit un nombre n d'impulsions dans cet intervalle, et comme chacune d'elles lui imprime la vitesse v, leur somme sera nv ou $T \times \frac{v}{t}$; on aura donc

$$V = T \times \frac{v}{t}.$$

Or, en nommant g l'espace parcouru dans l'unité de temps, nous avons vu que l'on a

$$g = \frac{(1+t)}{2} \times \frac{v}{t};$$

divisant ces équations membre à membre, il vient

$$\frac{V}{g} = \frac{2T}{1+t}, \quad \text{ou} \quad \frac{V}{g} = 2T - \frac{2Tt}{1+t}.$$

Plus t diminue, plus le rapport $\frac{V}{g}$ s'approche d'être égal à $2T$; dans le cas de la pesanteur, il faut faire t nul, et l'on a rigoureusement

$$V = 2gT,$$

c'est-à-dire que la vitesse est proportionnelle au temps.

que, pour la latitude de Paris, cet espace est de 15 pieds $\frac{1}{10}$ ou $4^m,9044$ dans une chute libre, et qui ne rencontre aucun obstacle; ce qui donne, en même temps, la vitesse du corps à la fin de la première seconde, $=$ 30 pieds $\frac{1}{5}$, ou $9^m,81$ (§ 4, 2°.) Avec cette donnée, on peut aisément calculer l'espace parcouru et la vitesse acquise après un temps quelconque déterminé; et généralement, connaissant une de ces trois choses, le temps, l'espace ou la vitesse, on peut déduire les deux autres par le calcul.

On peut, de même, déterminer toutes les circonstances de tout autre mouvement uniformément accéléré, dès qu'on connaît la valeur de g qui s'y rapporte. Cette valeur est donc, pour ainsi dire, la mesure de tous les mouvemens de ce genre, et on la nomme *mesure d'accélération, ou force accélératrice* (1).

Nous avons supposé que le temps T était commensurable avec l'unité de temps. Si cette condition n'était pas remplie, on la rendrait exacte en ajoutant au temps T une portion de l'intervalle t; et alors on commettrait une erreur dont l'étendue dépendrait de l'espace décrit par le mobile dans ce petit intervalle. Mais comme ensuite on fait t nul, il est clair que l'erreur dont il s'agit, devient pareillement nulle aussi. Ce qui montre que les résultats précédens sont indépendans de l'hypothèse de la commensurabilité, qui nous a servi pour les découvrir.

(1) Les deux formules développées dans le précédent article, $V = 2gT$, et $E = gT^2$, sont les formules fondamentales par lesquelles se résolvent toutes les questions sur le mouvement uniformément accéléré. En supposant que g soit donné, on voit facilement que, par son moyen, lorsqu'une des trois quantités T, E, V est donnée, les deux autres peuvent s'en conclure; car si c'est T qui est donné, les deux équations précédentes donnent immédiatement V et E; si V est donné, on en déduit

$$T = \frac{V}{2g}, \text{ et ensuite } E = gT^2 = \frac{V^2}{4g};$$

enfin si l'on se donne E, on tire de l'équation $E = gT^2$,

$$T = \sqrt{\frac{E}{g}}, \text{ et par suite, } V = 2gT = 2g\sqrt{\frac{E}{g}} = 2\sqrt{gE}.$$

S'il s'agit de la chute libre des corps produite par l'action de la pesanteur, il ne faut substituer pour g que $15^{pi}\frac{1}{10}$ ou $4^m,9044$. S'il est question de quelque mouvement uniformément accéléré, il faut seulement mettre pour g la valeur qui lui appartient.

§ 6. Lorsqu'un corps est lancé vers le haut, en direction verticale, il est clair que la pesanteur diminue uniformément sa vitesse, précisément comme elle l'accroîtrait dans sa chute, et dans un rapport exactement égal. Le corps s'élève donc jusqu'à ce que toute sa vitesse primitive d'impulsion, soit détruite par l'action continuée de la pesanteur; ensuite il retombe, et l'on conçoit qu'il reprend, à chaque point de son chemin, la même vitesse qu'il avait à ce point en s'élevant. Cette remarque fournit un moyen de trouver la hauteur où parviendra le corps, si l'on connaît la vitesse de projection avec laquelle il s'élève (1).

§ 7. Les propositions qu'on vient d'exposer ne peuvent avoir rigoureusement leur effet que pour la chute des corps dans un espace vide d'air. Dans l'air, au contraire, il ne peut y avoir aucun mouvement tout-à-fait uniformément accéléré, puisque le corps tombant doit mettre à chaque instant une certaine quantité d'air en mouvement, et qu'autant il communique de mouvement à l'air, autant il en perd lui-même (pag. 19, § 8). Si donc le corps tombant a peu de masse, mais beaucoup de volume, on conçoit que son mouvement doit être fort retardé par la résistance de l'air; et c'est aussi ce que confirme l'expérience. Réciproquement, la résistance de l'air est d'autant moins sensible, que la surface du corps tombant est plus petite et sa masse plus grande.

Chute sur un plan incliné.

§ 8. Si un corps pesant D, (*fig.* 6) se trouve sur un plan incliné

---

(1) Soit U la vitesse de projection imprimée au corps, au moment où on le lance de bas en haut, et comptons les temps T, à partir de cette époque. Lorsque le corps cessera de monter, ce sera parce que les impulsions réitérées de la gravité, pour le faire descendre, lui auront imprimé une somme de vitesse, ou une vitesse totale V égale à U. Or, en désignant par T le temps après lequel cela arrive, on aura alors $V = 2gT$, d'après les lois de la pesanteur; il faudra donc que ce produit $2gT$ soit égal à U, ce qui donne $T = \frac{U}{2g}$: c'est le temps après lequel le mobile s'arrête, pour redescendre ensuite. Quant à l'espace E qu'il aura décrit alors, il se trouvera égal à gT^2, ou $\frac{U^2}{4g}$; expression qu'il sera facile de réduire en nombre, quand la vitesse initiale U sera donnée.

AB, il roule ou glisse vers le bas, mais avec une force moindre que dans une chute libre et verticale. La grandeur de cette force peut être déterminée de la manière suivante : que D soit le centre de gravité du corps; qu'on mène de ce centre, au plan incliné, la verticale DE qui représente la pesanteur absolue, ou le poids du corps, c'est-à-dire, la force qui pousserait le corps dans une chute libre; qu'on mène ensuite les deux lignes DF et DG, dont la première soit perpendiculaire à AB et la seconde lui soit parallèle : la force DE pourra être censée décomposée en deux forces (pag. 30, § 4), dont l'une, DF, est perpendiculaire à AB, et l'autre, DG, est parallèle à AB. La première ne peut produire aucun mouvement, puisqu'elle est détruite par la résistance du plan; la seconde, DG, agit, au contraire, dans la seule direction où le corps peut se mouvoir, et elle produit ainsi tout le mouvement à elle seule. La force qui produisait la chute verticale, c'est-à-dire, le poids du corps, est donc à la force qui produit réellement la chute oblique sur le plan incliné, comme DE est à DG. Si des points A et B, pris à volonté sur la surface inclinée, on tire la ligne verticale AC et la ligne horizontale BC, on a le triangle ABC semblable au triangle DEG; et DE : DG=AB : AC. Le poids du corps est donc à la force oblique qui le pousse sur le plan incliné, comme la longueur AB de ce plan est à sa hauteur AC. Il y a un instrument particulier destiné à rendre sensible l'exactitude de cette évaluation; il se nomme *plan incliné*.

§ 9. A quelque endroit que soit le corps sur le plan incliné, la force accélératrice savoir: DG dans l'exemple précédent, qui le pousse en chute oblique, est toujours la même; ainsi, la chute oblique doit produire, comme la chute verticale, un mouvement uniformément accéléré, mais d'une accélération moindre; et l'accélération de la chute libre, que jusqu'ici nous avons nommée g, sera, à l'accélération de la chute oblique, comme AB est à AC. Maintenant, puisque l'on connaît $g = 15\frac{1}{10}$ ou $4^m,9044$, il suffira d'avoir le rapport AB : AC, pour trouver toutes les circonstances de la chute oblique (1).

§ 10. Une remarque importante et très-utile par ses conséquences, c'est que le corps, lorsqu'il descend de A jusqu'à B, acquiert

(1) *Galilée* qui développa le premier avec exactitude la loi de la chute, employa le plan incliné pour la rendre sensible.

la même vitesse que s'il était tombé librement de A en C; car les vitesses en chaque point sont entre elles comme AB à AC, c'est-à-dire, comme les longueurs des plans (1).

§ 11. Si l'on suppose deux corps, dont l'un tombe verticalement de A à C (*fig.* 6), et l'autre obliquement de A à B, mais de sorte que tous deux aient déjà en A une vitesse déterminée et égale; il est clair qu'ils parviendront encore en C et en B avec d'égales vitesses. Soit donc ABCD (*fig.* 7), un plan interrompu par les angles B, C, etc., pris à volonté; qu'on mène par A ou par D les lignes verticales AK et DE, et par A, B, C, D, les lignes horizontales AE, FG, HI, KD; il est clair qu'un corps qui glisse sur le plan interrompu, de A en BCD, aura la même vitesse qu'aurait un corps tombant de A en FHK, ou de E en GID.

§ 12. Comme le nombre, la grandeur et la position des interruptions du plan, sont absolument arbitraires, cette proposition s'applique aussi à une ligne courbe AB (*fig.* 8). Qu'on mène l'horizontale AC, et d'un point à volonté la verticale CB; on peut ensuite déterminer la vitesse d'un corps glissant de A aux points arbitrairement choisis D et F, en menant de ces points les horizontales DE et FG. La vitesse dans les points donnés, est précisément la même que si le corps était tombé librement de C en E, ou de C en G.

De là se déduit cette proposition remarquable, *que lorsqu'un corps passe d'une surface inclinée à une autre, il a la même vitesse par quel chemin qu'il y parvienne.* — Cependant, la résistance de l'air peut occasionner quelque différence dans la réalité.

---

(1) Si l'on représente par g la force accélératrice due à la pesanteur verticale, et par g' celle qui a lieu sur le plan incliné, on obtiendra g' par la proportion $AB : AC = g : g'$; d'où $g' = \frac{AC}{AB} \times g$. Soient maintenant V la vitesse due à la chute libre de A en C, et V′ la vitesse de la chute oblique de A en B: on a, d'après la note du n.° 5,

$$V = 2\sqrt{g.AC} \text{ et } V' = 2\sqrt{g'.AB} = 2\sqrt{\frac{AC}{AB}.g.AB} = 2\sqrt{g.AC};$$

c'est-à-dire qu'elle est exactement égale à la précédente.

CHAPITRE XIII.

Des Mouvemens libres curvilignes.

1.° *Mouvement de projection.*

§ 1. Lorsqu'un corps pesant est poussé dans une direction oblique à la verticale, par un choc quelconque, il décrit une courbe dont la forme peut se trouver par la Géométrie, de la manière suivante,

Au point A (*fig.* 9) où ce corps commence à entrer en mouvement: menez la verticale AK; prenez A 1 pour unité; déterminez ensuite, d'après cette unité, et à partir du point A, les distances 4, 9, 16, 25, etc. suivant la progression des nombres carrés, et admettons alors que A 1 représente l'espace parcouru par un corps grave, dans la première seconde de sa chute; il est clair que les points 4, 9, 16, 25, etc. sont ceux où il se trouvera à la fin de la 2.e, de la 3.e, de la 4.e, de la 5.e seconde, etc. (pag. 35, § 4, 1.°).

Dans l'instant où le corps va tomber, supposons qu'il reçoive, dans la direction AF, un choc d'une intensité telle, qu'en supposant le corps sans pesanteur et soumis uniquement à sa force d'inertie, il parrcourait AB dans la première seconde, et dans les suivantes les espaces également grands BC, CD, DE, EF, etc.

Maintenant, un corps ne peut avoir deux mouvemens à la fois, à moins qu'il n'en reçoive un dans un espace mobile qui, lui-même, en a un différent (pag. 16, § 6). Par conséquent, le corps exécute, dans la ligne AK, le mouvement produit par la pesanteur; et cette même ligne AK fait avec le corps, le mouvement produit par le choc; de sorte qu'elle se trouve, à la fin de la 1.re, de la 2.e, de la 3.e, de la 4.e, de la 5.e seconde, etc., dans les situations parallèles Bβ, Cγ, Dδ, Eε, F*f*, etc. Qu'on mène alors 1*b*, 4*c*, 9*d*, 16*e*, 25*f*, etc. parallèles à AF, il est clair que le corps sera en *b*, à la fin de la 1.re seconde; en *c*, à la fin de la 2.e; en *d*, à la fin de la 3.e; en *e*, à la fin de la 4.e; en *f*, à la fin de la 5.e Si l'on fait passer alors par ces points la courbe A*bcdef* etc., on a la forme de la route qu'a parcourue le corps.

§ 2. On démontre, par le secours d'une Géométrie plus élevée, que cette ligne courbe appartient à l'espèce nommée *parabole* (1).

§ 3. Ici, l'expérience doit différer beaucoup de la théorie, à cause de la résistance de l'air : et quoiqu'il soit fort difficile de soumettre cette résistance au calcul (2), on conçoit aisément que son effet doit consister en ce que, à commencer du point le plus élevé G, la partie G*f* qui, dans une parabole, est parfaitement égale à la partie GA, sera infiniment plus courbée, et se courbera toujours plus vers le bas que la vraie parabole, à mesure qu'on la prolongera.

2.° *Mouvemens centraux.*

§ 4. On peut déjà conclure de ce qui précède, que, pour qu'un mouvement curviligne ait lieu, deux forces, au moins, doivent y être employées, et que de celles-ci une, au moins, doit être accélératrice, tandis que l'autre peut être un choc agissant momentanément, ou *une force instantanée*. Parmi les cas infiniment variés qui se rapportent à celui-ci, il n'en est aucun qui soit plus intéressant pour le physicien, que celui où une force attire continuellement un corps vers un

---

(1) La parabole est une courbe plane dans laquelle les abscisses sont proportionnelles aux carrés des ordonnées, soit que l'angle des coordonnées soit droit ou oblique. Dans l'exemple que nous avons choisi, la ligne verticale AK qui répond à la position initiale du corps, n'est pas l'axe de la parabole, mais est parallèle à cet axe, et forme un diamètre de la courbe. Les ordonnées doivent être prises parallèlement à la tangente au point A. Si l'on prend AK pour axe des abscisses, les abscisses A1, A4, etc., seront comme les carrés des nombres naturels 1, 2, 3, etc., et si l'on prend KAF pour l'axe des ordonnées, les ordonnées 1*b*, 4*c*, 9*d*, etc., seront comme les nombres naturels 1, 2, 3, etc. Ainsi les abscisses seront comme les carrés des ordonnées, ce qui constitue la parabole. AK est un diamètre, et AF est la direction de l'impulsion initiale, ou la tangente à la courbe. Comme tous les diamètres de la parabole, sont parallèles à son axe, on trouvera celui-ci en menant une verticale par le point G le plus élevé de la trajectoire.

Sur les propriétés de la parabole, voyez l'*Essai de Géométrie analytique* de *Biot*, 5.ᵉ édition ; *la Géométrie analytique* de *Garnier*, etc.

(2) On verra dans la IV.ᵉ section, que la résistance de l'air et, en général, que la résistance du milieu qu'un mobile traverse, est proportionnelle au carré de la vitesse du mobile.

certain centre, tandis que le corps a reçu d'une autre force une impulsion extérieure. Ces combinaisons de forces, se nomment *forces centrales*, et les mouvemens qu'elles produisent, se nomment *mouvemens centraux*.

§ 5. Soit C (*fig.* 10) le point vers lequel un corps qui se trouve en A, est attiré continuellement, mais supposons que le corps reçoive en même-temps un mouvement dans la direction AD. Quoique la force centrale agisse d'un mouvement continu et sans interruption, nous admettrons cependant, pour la facilité de l'explication, qu'elle agit par secousses, et qu'elle répète son action dans des espaces de temps très-petits, mais égaux, que nous nommerons *instans*. Dans le premier instant, la force centrale tend à pousser le corps de A jusqu'en B, et la force latérale tend à le porter de A en D; il parcourra donc la diagonale AE du parallèlogramme ADEB. Qu'on prolonge AE jusqu'en EG=AE; EG sera en grandeur et en direction le chemin que prendrait le corps au deuxième instant, s'il devenait libre; mais la force centrale le sollicite, au commencement de cet instant, à se porter de E en F; il parcourra donc la diagonale EH du parallélogramme EGHF, ainsi de suite. On voit facilement que, d'après la supposition précédente, le corps décrirait une ligne brisée AEHL. Mais comme la force centrale n'agit point par secousses, il est clair que le véritable chemin du corps, sera une ligne courbe dont la forme peut varier à l'infini, soit à raison des différences d'intensité et de direction de la force latérale, soit à raison de l'énergie et des lois de la force centrale.

§ 6. Beaucoup de physiciens nomment la force qui attire vers C, une force *centripète*, et lui opposent une force contraire qu'ils appellent force *centrifuge*. Mais quelques écrivains ont introduit un peu de confusion dans ce qui constitue la dernière; et ceci rend nécessaire de déterminer clairement ses conditions, puisque les mots *centripète* et *centrifuge* sont employés même dans l'usage ordinaire. *Huyghens*, qui le premier s'est servi de la dernière de ces expressions, l'a prise dans un sens que nous allons expliquer. On peut se représenter, un peu autrement que nous n'avons fait dans le précédent article, le jeu des forces par lesquelles le corps est contraint à parcourir la diagonale AE. Qu'on prolonge BA, qu'on fasse AM = AB, et qu'on tire DM; AEDM est un parallélogramme, et l'on peut dire que la force AD est décomposée en deux forces AM et AE, dont la première AM est

opposée à la force centripète, mais lui est égale; de sorte que ces deux forces se détruisent mutuellement, et que le corps doit obéir seulement à la force DM ou à son égale AE. *Huyghens* nomme cette force AM, *la force centrifuge;* et l'on voit aisément qu'elle est, dans tous les cas, égale à la force centripète, mais qu'elle lui est opposée. Au lieu de celle-ci, beaucoup d'auteurs nomment force centrifuge la force latérale AD qu'il vaudrait mieux nommer *tangentielle,* puisqu'elle tend toujours à pousser le corps suivant la tangente au point de la courbe où il se trouve.

§ 7. C'est par un effet de la force centrifuge proprement dite, que le fil d'une fronde est tendu lorsqu'on la fait tourner. C'est par un effet de la force tangentielle que l'eau jaillit au-dessus des bords d'un vase qu'on meut circulairement. On a inventé une machine ingénieuse, nommée *machine centrale,* qui sert à rendre sensibles aux yeux toutes les lois des mouvemens centraux. Elle peut être utile, mais elle est trop coûteuse pour son usage. On en trouve une description dans l'*Astronomie de Ferguson.*

Une boule suspendue à un fil donne un moyen très-facile et très-simple d'observer la formation des mouvemens centraux. Comme cette boule ne peut être en repos, que quand elle est verticalement au-dessous du point de suspension, elle retourne toujours à cette position lorsqu'on l'en écarte; et ainsi cet effet de la pesanteur représente ici une force centrale. Si l'on prend la boule, et qu'on lui donne une impulsion dirigée obliquement à la verticale, elle commence à prendre un mouvement curviligne autour du point central. Ce mouvement peut être un ovale ou un cercle, selon la différence de direction et de force de l'impulsion (*).

§ 8. C'est sur ce jeu si simple des forces centrales que repose le cours admirable des astres. *Képler* découvrit le premier les principales lois de leurs mouvemens; mais il ne les déduisit pas des lois de la Mécanique, et il les reconnut seulement par une grande application et une grande finesse d'observations. *Newton* fonda leur théorie, et découvrit les lois simples de la gravitation générale qui retient tous les corps dans un ordre éternel.

(*) Ceci mériterait quelques détails dans lesquels la nature de cet ouvrage ne nous permet pas d'entrer.

CHAPITRE XIV.

Mouvemens sur des lignes données.

§ 1. Un corps peut être forcé, de diverses manières, à prendre une autre direction que celle qu'il aurait prise par le libre jeu des forces. D'après cela, on distingue dans la Mécanique les *mouvemens libres* et les *mouvemens dans des lignes données*. Nous allons examiner ici, avec attention, seulement deux des mouvemens de la dernière espèce, les mouvemens curvilignes, et les oscillations du pendule.

1.° *Mouvemens curvilignes.*

§ 2. Lorsqu'un corps solide libre reçoit une impulsion qui ne passe pas par son centre de gravité, il prend un mouvement composé, 1.° d'un mouvement de translation uniforme, commun à toutes ses particules; 2.° d'un mouvement de rotation aussi uniforme autour d'un axe passant par le centre de gravité, mais dont la direction peut être variable ou constante dans l'intérieur des corps. Dans tous les corps, on peut concevoir par le centre de gravité trois droites rectangulaires entre elles, qui sont des axes de rotation permanens, c'est-à-dire, que si la rotation a commencé à se faire autour d'un de ces axes, elle se continuera toujours autour de ce même axe, pourvu toutefois que le corps n'éprouve pas une résistance ou un choc qui vienne troubler la liberté que nous lui avons supposée dans ses mouvemens. Ce cas paraît être celui de tous les corps célestes. Tous ces résultats se démontrent dans la Mécanique.

§ 3. Considérons, en particulier, le cas d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe permanent, passant par le centre de gravité. Désignons ce centre par C (*fig.* 11) et supposons l'axe de rotation perpendiculaire au plan de la figure. Dans ce cas, un point quelconque du corps décrira autour de l'axe de rotation une circonférence de cercle; par exemple, le point A, décrira la circonférence AEKD. Pendant ce mouvement de rotation, la force de cohésion qui retient les particules du corps, sert de force centripète : mais quelque grand que puisse être son effet considéré sous ce rap-

port, il ne dépend pas du tout de sa force propre, mais seulement du mouvement et de la forme du corps qui se meut. Pour concevoir ceci facilement, on suppose que AG soit l'arc que le point A parcourt dans un intervalle de temps infiniment petit; on tire la tangente AB, et l'on achève le parallélogramme AFGH. Maintenant, si AF représente la force avec laquelle A tend à suivre son mouvement dans la tangente AF, AH est la force avec laquelle la force centrale l'attire vers C; et celle-ci, comme on le voit, ne dépend pas du tout des propriétés physiques du corps, mais de la vitesse du point A, et de sa distance à l'axe de rotation C. Ainsi, dans la rotation d'un corps solide, il se produit toujours, à la surface du corps, une force centripète (pag. 44, § 6), qui est nécessaire pour empêcher les particules de s'échapper. Une force pareille doit exister aussi dans chaque point d'un corps tournant, et elle est d'autant plus intense que ce point est plus éloigné de l'axe de rotation C, c'est-à-dire, que la vitesse est plus grande. Comme la vitesse de rotation est illimitée, on peut toujours la concevoir assez grande pour que la force centrifuge devienne plus puissante que la force de cohésion; et alors la particule A doit se détacher et suivre son mouvement dans la tangente AF. Lorsque le point du corps où était la particule, arrive en G, la particule même doit se trouver en F; par conséquent elle se sera éloignée du centre C, de la valeur de la ligne GF, relativement à la place où elle était; ce qui est un effet sensible de la force centrifuge (1).

§ 4. Les effets de la force centrifuge, combinés avec ceux d'une force attractive réciproque au carré de la distance, expliquent complètement la forme un peu aplatie des corps célestes, et la diminution de la pesanteur sous l'équateur; les forces centrifuges sont aussi le

(1) Dans le cercle, si on désigne la force centrifuge par f, la vitesse par v et le rayon par r, on a $f = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$, T désignant le temps d'une révolution entière, et π ayant pour valeur 3,14159. A l'équateur, le rayon de la terre est $r = 6376464$, le temps T d'une révolution entière, est 86164 secondes : on trouve ainsi $f = \frac{1}{289}$ de la gravité. Que si le mouvement de rotation de la terre était 17 fois plus considérable, la force centrifuge serait égale à la gravité, et les corps à l'équateur seraient sans pesanteur. Aux pôles, la force centrifuge est nulle.

principe d'une foule de phénomènes des mouvemens curvilignes qui se présentent chaque jour à nos yeux.

2.° *Oscillation du Pendule.*

§ 5. Quand un corps pesant est attaché à un axe fixe autour duquel il peut seulement tourner, il ne peut rester en équilibre, à moins que son centre de gravité ne soit soutenu, c'est-à-dire, ne se trouve dans le plan vertical mené par l'axe de suspension (p. 33, § 4). Si un corps placé en équilibre de cette manière, est mis en mouvement curviligne par un choc latéral, son mouvement ne sera pas uniforme. Il peut être mis en mouvement sans secousse, par sa seule pesanteur, lorsqu'on l'écarte plus ou moins de sa situation d'équilibre, de sorte que le centre de gravité ne soit pas dans la ligne qui passe verticalement par l'axe. Si ensuite on abandonne le corps à lui-même, il en résulte des *oscillations de pendule*, et la considération de cette sorte de mouvement, est très-importante.

§ 6. Chaque corps AG (*fig.* 12), quelle que soit sa forme, se nomme *pendule physique* ou *composé*, lorsque son centre de gravité B ne coïncide pas avec le point de suspension A. Un pendule *simple* ou *géométrique* est une seule ligne droite AB (*fig.* 13) qui se meut autour de A, et dont la seule extrémité B est pesante. Un semblable pendule ne peut pas exister réellement; mais un petit corps B (*fig.* 14) d'une masse compacte, suspendu à un fil mince AB, peut en tenir lieu. Ce que l'on nomme alors la *longueur* d'un tel pendule, en le considérant comme simple, c'est la distance du point de suspension A au centre de gravité du petit corps B.

§ 7. Si un pendule simple AB (*fig.* 15) est amené dans la position AC, et alors abandonné à lui-même, le point matériel B est forcé de décrire l'arc de cercle CB, et il le décrit avec un mouvement *accéléré*, puisque la pesanteur agit continuellement sur lui à chaque point de sa course; mais comme la direction verticale de cette force, devient de plus en plus oblique à son mouvement, l'*accélération* ira en diminuant de C en B, et ne sera pas *uniforme*. La vitesse augmente d'abord continuellement de C jusqu'en B, et elle est à son *maximum* d'énergie en B, où la force accélératrice devient nulle. D'après cela, le corps ne peut demeurer en B, et il continue à décrire l'arc BH, en vertu de sa force d'inertie. Mais on voit aisément que sa vitesse, maintenant que la pe-

santeur agit d'une manière contraire, doit décroître dans la même proportion suivant laquelle elle croissait auparavant; de sorte que, par exemple, il aura en G la même vitesse qu'il avait eue au point E, lorsqu'il se trouvait à une hauteur égale. Si l'on mène du point C, où commence le mouvement, la ligne horizontale CH, il est clair que le corps doit s'élever jusqu'en H; mais, parvenu en ce point, il se trouve dans le même cas où il était en C; il reviendra donc de H jusqu'en C, et il continue ainsi à osciller d'un de ces points à l'autre (*).

Quelques physiciens entendent par le mot *oscillation* une allée et un retour; d'autres nomment ainsi une seule allée ou un seul retour: nous adopterons cette dernière signification.

§ 8. Il est clair que ces oscillations du pendule, devraient continuer ainsi d'une manière égale et non interrompue, s'il ne se trouvait aucun obstacle au mouvement; mais la résistance de l'air, et la force, quoique bien peu considérable, qui est nécessaire pour la flexion du fil en A, ôtent à chaque instant au pendule quelque chose de sa vitesse; par cette raison, il n'atteint jamais la hauteur de l'oscillation précédente, et l'arc d'oscillation devient toujours plus petit, jusqu'à ce qu'enfin le pendule s'arrête tout-à-fait. Cependant, les obstacles au mouvement, peuvent être tellement affaiblis, que ces oscillations durent plusieurs heures de suite (1).

(*) Soient Ee la direction verticale et la grandeur de la pesanteur, ET une tangente en E : prolongeons le rayon AE, et faisons le parallèlogramme $Etek$: l'effet de la composante Ek qui agit des E vers k, est détruit par la résistance du fil ; et il ne reste sur E que l'action de l'autre composante accéleratrice Et qui agit de E vers T. Une semblable décomposition faite en un autre point F, montre que la composante Ft' est une force retardatrice. La même décomposition faite en G, fait voir que la force rétardatrice en ce point, est de même intensité que la force accéleratrice en F, en observant que celle de la pesanteur est partout la même.

(2) Dans les expériences sur la mesure du pendule, faites à l'Observatoire de Paris, avec l'appareil de *Borda*, le mouvement était encore sensible au microscope, après un intervalle de vingt-quatre heures. Pour le détail de ce genre d'expériences, voyez l'*Astronomie physique* de *Biot*, 2.e édition. M. *Prony* a éprouvé qu'un pendule composé d'un poids de dix à douze kilogrammes et d'environ un mètre de longueur, pouvait, la suspension étant faite avec beaucoup de soin, osciller pendant un jour sydéral, c'est-à-dire, pendant le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs d'un astre par le même méridien ; ce qui est une propriété fort importante dans ce genre de recherches.

§ 9. Autant il est facile d'expliquer la production des mouvemens du pendule, autant il est difficile, sans le secours du calcul, d'en présenter une théorie exacte et entière : nous nous contenterons donc d'exposer les résultats des recherches mathématiques faites d'après les expériences. On trouve, avec la description de la machine d'*Atwood*, que nous avons indiquée ci-dessus, pag. 35, § 3, celle d'un appareil employé pour cet objet.

1) La propriété la plus remarquable de cette sorte de mouvement, est la parfaite égalité, ou, comme on a coutume de l'appeler, l'*isochronisme* des oscillations. La durée d'une oscillation n'est que très-peu changée par la grandeur de l'arc CB; et comme cet arc n'est en général que de peu de degrés dans les expériences où l'on emploie le pendule, les oscillations sont tout-à-fait isochrones pour nos sens (1).

2) Dans des arcs d'oscillation égaux, lorsqu'ils sont parcourus dans le vide, le poids, la grandeur, la forme et les quantités matérielles du corps B, n'ont aucune influence sur la durée d'une oscillation.

3) Le temps d'une oscillation change avec la longueur du pendule, et est proportionnel à la racine carrée de sa longueur (2).

---

(1) Le temps de l'oscillation croît avec la grandeur de l'arc BC, ou de l'angle BAC; et en le comparant à celui d'une oscillation infiniment petite, qui est toujours sensiblement le même, comme on le voit ci-après, l'accroissement du temps de l'oscillation, sera

Si CAB	$= 30°$, de	0,01675
	$= 15°$,	0,00426
	$= 10°$,	0,00190
	$= 5°$,	0,00012
	$= 2°\frac{1}{2}$,	0,00003

Le temps d'une oscillation infiniment petite, est pris ici pour unité. On voit que pour des arcs de $2°\frac{1}{2}$, la différence est à peine sensible. Ces résultats sont calculés d'après la formule rapportée dans la note suivante.

(2) La chose la plus importante, mais aussi la plus difficile, dans la théorie des oscillations du pendule, c'est la détermination du temps que le pendule emploie à faire une partie quelconque de son oscillation. Il est très-facile, au contraire, de déterminer la vitesse du corps dans chaque point; car si, par exemple, le corps est allé de C jusqu'à E, il a, selon le chap. XII, § 12, la vitesse qu'il aurait eue en chute libre de D jusqu'à F. On ne peut parvenir à la détermination complète du temps que par une intégration compliquée dont nous allons donner, au moins,

§ 10. Il résulte de ces lois, que le temps de l'oscillation du pendule simple ou idéal, est un pur effet de la pesanteur, indépendant

---

ici le résultat. Soient L la longueur du pendule, T le temps d'une oscillation dans l'arc CBH, V le sinus verse de l'angle CAB, g la pesanteur, ou l'espace que décrirait un corps grave dans la première seconde de sa chute; enfin π la demi-circonférence, ou 3,1415926; on a trouvé

$$T = \pi \sqrt{\frac{L}{2g}} \cdot \left(1 + \frac{1}{8} V + \frac{9}{256} V^2 + \text{etc.}\right)$$

La quantité comprise entre les parenthèses forme, à la vérité, une série infinie ; mais elle est si convergente, que, dans les arcs très-petits, le premier terme suffit déjà, en sorte que l'on peut prendre

$$T = \pi \sqrt{\frac{L}{2g}} \ldots\ldots\ldots (1)$$

Dans les observations qui exigent de la précision, on conserve les deux premiers termes de la valeur de T; on a alors

$$T = \pi \sqrt{\frac{L}{2g}} \left(1 + \frac{\alpha^2}{16}\right) \ldots\ldots\ldots (2)$$

α étant l'arc dont V est le sinus verse : le second terme de cette valeur de T est la correction due à la grandeur de l'arc parcouru. Les quantités g et L seront toutes deux exprimées dans une même mesure qui est l'unité de longueur, et le temps T est donné en secondes, parceque g correspond à la chute verticale libre, pendant une seconde de temps.

La formule (1) sert de fondement à toute la théorie du pendule. Nous ferons seulement une remarque : quand on élève au carré la valeur approchée de T, et qu'on la multiplie par $2g$, on obtient

$$2g\, T^2 = \pi^2 L \ldots\ldots\ldots (3)$$

Cette formule sert, quand deux des trois quantités T, g et L sont données, et elle fait trouver la troisième; résultat indispensable pour la théorie de la pesanteur.

«On démontre encore dans les Traités de Mécanique, que *le temps de l'oscillation entière, dans un milieu résistant, est le même que si le mouvement avait lieu dans le vide*, parce que le temps de la demi-oscillation ascendante, est diminué par l'effet de la résistance du milieu, de la même quantité que celui de l'oscillation descendante est augmenté; mais l'amplitude de l'oscillation entière est diminuée. »

de l'influence accessoire de toutes les autres forces; et même c'est sur cela qu'est fondé le principe rapporté déjà au chapitre VII, § 9, que le pendule est parfaitement convenable pour les recherches exactes sur la pesanteur.

De cette considération se déduit la quatrième loi suivante :

4) Le temps de l'oscillation doit varier, tout le reste demeurant égal, lorsque la pesanteur elle-même varie. Ce temps doit être plus long, si la pesanteur diminue; plus court, si elle augmente (1).

§ 11. La théorie du pendule composé est encore plus difficile. Nous nous bornerons donc à éclaircir deux idées relatives à ce sujet, c'est-à-dire, l'idée de la *longueur* d'un semblable pendule, et celle de son *centre d'oscillation* ou *point d'oscillation*.

Si l'on suspend à côté d'un pendule composé AG (*fig.* 12) un pendule simple AB (*fig.* 14), on peut les amener par des alongemens ou des raccourcissemens, à osciller en temps égaux. Qu'on prenne alors la longueur AB du pendule simple, et qu'on la porte sur le pendule composé, de sorte que AD (*fig.* 12) = AB (*fig.* 14), on trouvera que D est toujours au-dessous du centre de gravité B du pendule composé ; il y a même des cas où D tombe tout-à-fait hors du corps AG. Ce point D se nomme le *centre d'oscillation*, et AD (non pas AB (*fig.* 12) et encore moins AG) se nomme la longueur du pendule composé. Aussitôt qu'on connaît assez exactement le centre d'oscillation d'un pendule composé, il peut, à tous égards, tenir lieu d'un pendule simple (*).

3.° *Applications du pendule.*

§ 12. L'isochronisme des oscillations du pendule, le rend le moyen le plus sûr de mesurer le temps, et en fait, par conséquent, le meilleur régulateur des horloges. *Huyghens* fut le premier qui en fit cette

---

(1) D'après la formule approchée $T = \pi \sqrt{\frac{L}{2g}}$, exposée dans la note du précédent paragraphe, on voit que T est réciproque à la racine carrée de g qui représente la force de la pesanteur.

(*) Voyez le livre III de la Dynamique de *Poisson;* la III.me section de la Dynamique de *Prony,* pages 330 et suivantes; le livre VI du Traité de Géodésie de *Puissant*, etc.

application. A la vérité, l'influence du chaud et du froid cause une petite irrégularité dans cet emploi du pendule; mais on a trouvé le moyen d'y remédier (1).

§ 13. L'application du pendule à des recherches sur la pesanteur, est encore beaucoup plus importante pour la Physique. A cet égard, nous remarquerons ce qui suit :

1.° L'isochronisme invariable des oscillations, tant qu'on ne change pas beaucoup de lieu, démontre l'invariabilité de la pesanteur elle-même.

2.° Le pendule prouve, non pas, à la vérité, d'une manière aussi frappante qu'une expérience dans le vide, mais néanmoins plus sûrement encore, que tous les corps acquièrent, par la pesanteur, la

---

(1) On sait que tous les corps se dilatent par la chaleur et se contractent par le froid. Dans le premier cas, le pendule s'alongeant, le centre d'oscillation s'abaise, et les oscillations deviennent plus lentes. Dans le second cas, le centre d'oscillation s'élevant, le pendule devient plus court, et sa marche s'accélère. On a imaginé d'opposer cette cause à elle-même, en assemblant des verges de métal de matières différentes, et qui se dilatent inégalement, de sorte que, quand le pendule s'alonge par l'effet de la dilatation, la lentille qui le termine se trouve en même-temps rehaussée; et au contraire, lorsque le pendule se raccourcit par le froid, la position de sa lentille s'abaisse; de sorte que, par ces effets opposés, le centre d'oscillation demeure toujours immobile et les oscillations restent isochrones. Les appareils de ce genre se nomment des *compensateurs*. On peut faire un compensateur en prenant, pour former le pendule, un tube creux de verre, rempli en partie de mercure. Ce tube s'alonge par la chaleur et se raccourcit par le froid; mais le mercure, placé au bas, se dilate et se contracte aussi en même-temps dans un plus grand rapport; de sorte qu'on peut enfin trouver une quantité de mercure telle que ces deux effets se compensent, et que le centre d'oscillation demeure toujours au même point, au moins tant qu'il ne faut obvier qu'aux changemens naturels de température de l'atmosphère. Il existe des pendules ainsi compensés, qui marchent très-régulièrement; et l'appareil est si facile à faire, qu'il devrait être employé par toutes les personnes qui, aimant l'exactitude, ne peuvent pas se procurer de compensateurs de métal. On assure aussi que des verges de sapin bouillies dans l'huile, et séchées ensuite, éprouvent des dilatations si peu sensibles, qu'on peut les employer dans les pendules, sans compensation. Les personnes qui désireraient plus de details sur cette manière importante, peuvent consulter mon *Traité de Physique expérimentale et mathématique*, tome I, page 167 et suivantes.

même vitesse dans la chute ; car un corps qui tomberait plus lentement qu'un autre, devrait, s'il était suspendu comme un pendule, faire des oscillations plus lentes.

3.° Le pendule simple, qui bat les secondes, donne un moyen de trouver l'espace parcouru par un corps grave dans la première seconde de sa chute, plus exactement qu'on ne le peut faire avec la machine d'*Atwood*. En effet, sans avoir besoin d'une démonstration plus précise, on conçoit, qu'entre la longueur du pendule simple à secondes, et cette hauteur de chute, il doit y avoir un rapport déterminé, puisque ces deux résultats ne dépendent que de la force de la pesanteur. On peut d'ailleurs démontrer par le calcul, que la longueur du pendule à secondes, est à l'espace que la pesanteur fait décrire en une seconde, comme 1 : 4,93480 (1); en sorte que l'on peut déduire l'un de ces résultats de l'autre, par une simple proportion. Or, sous la latitude de Paris, la longueur du pendule simple à secondes, est à très-peu près $440^{l}, 60$; par conséquent on en tire $g = 15^{pi}, 099$; ce qui ne diffère que d'une petite quantité des 15 pieds $\frac{1}{10}$ dont nous avons fait usage jusqu'à présent.

4.° L'opinion de *Newton* sur l'affaiblissement de la pesanteur qui doit avoir lieu sous l'équateur, est parfaitement confirmée par les observations du pendule. Un pendule qui bat ici les secondes exactement, oscille plus lentement sous l'équateur, et plus vite dans les contrées du Nord. Ainsi, pour qu'il continue de marquer les secondes exactes, il faut qu'il soit raccourci sous l'équateur et alongé sous les pôles. Parmi les nombreuses observations de cette espèce, nous citerons les suivantes :

LIEUX d'observation.	LATITUDE septentrionale.	LONGUEUR du pendule à sec. en lig. de Paris.	VALEUR de g en pieds de France.
Quito.........	0°13′	439,10	15,0477
Paris..........	48.50	440,60	15,0991
Kola en Laponie	68.52	441,31	15,1235

(1) Si dans la formule $2gT^2 = \pi^2 L$, de la page 51, on fait $T = 1$, on trouve $2g = \pi^2 L$, d'où l'on tire $1 : \frac{1}{2}\pi^2 = L : g$, ce qui est la proportion énoncée dans le texte.

On voit dans la note, page 54, comment les nombres de la quatrième colonne, peuvent être calculés d'après ceux de la troisième; les valeurs de *g*, qui en résultent, doivent être considérées comme la mesure propre de la pesanteur dans les lieux où sont faites ces observations. On trouve plusieurs expériences semblables dans l'ouvrage de *Bode*, intitulé *Kenntniss der Erdkugel*, 2.e édit., pag. 180, Berlin, 1803. (*Voyez* aussi la *Mécanique céleste.*)

5.° Sur les très-hautes montagnes, les oscillations du pendule sont un peu ralenties. *Bouguer* trouva qu'un pendule qui faisait 98770 oscillations en 24 heures au bord de la mer, n'en faisait sur le Pichincha que 98720 dans le même temps. La pesanteur diminue donc lorsqu'on s'éloigne de la terre.

6.° Le pendule nous indique, lorsqu'il est en repos, la direction de la pesanteur de la manière la plus exacte. Dans le voisinage des grandes chaînes de montagnes, on a trouvé que sa direction dévie un peu de la verticale, et s'incline vers la chaîne de montagnes; ce qui est une preuve évidente d'une force attractive des montagnes qui s'exerce sur le corps du pendule (1). Les observations les plus exactes de ce genre, ont été faites en Écosse, l'année 1774, par l'astronome anglais *Maskeline*. Il calcula la force attractive de la montagne, d'après le petit angle dont le fil-à plomb déviait de la direction verticale, et il la compara avec la force attractive de la terre entière, qu'il connaissait par les effets de la pesanteur; cela le mit en état de conclure le rapport de la masse de la montagne avec la masse de la terre entière; et le résultat de cette recherche importante, mais délicate, fut que la masse terrestre est environ 4 fois $\frac{1}{2}$ aussi considérable que le serait la masse d'un globe d'eau de semblable volume. L'opinion de ceux qui admettent que l'intérieur de la terre, est rempli d'eau, est réfutée par ce résultat. Ainsi, nous devons même au pendule quelques inductions sur la nature, ou du moins, sur la densité

(1) On prouve et on mesure cette déviation, en observant les distances méridiennes d'une même étoile au zénith, d'un côté et de l'autre de la montagne. Comme ces distances se comptent à partir de la verticale indiquée par le fil-à-plomb, on voit si elles sont les mêmes ou si elles diffèrent; car l'attraction de la montagne tend à augmenter l'une et à diminuer l'autre.

des substances qui peuvent composer l'intérieur du globe terrestre (*).

7.° Enfin, le pendule peut être appliqué à diverses expériences sur le mouvement des corps, puisqu'on peut, par son moyen, produire aisément des mouvemens de grandeur, de direction et de vitesse déterminés; car on peut démontrer, par des raisonnemens géométriques, que la vitesse du pendule au point B (*fig.* 15), quand il tombe de diverses hauteurs, est comme les cordes des arcs parcourus; c'est-à-dire, la vitesse du pendule en B, quand il a commencé son mouvement en C, est à la vitesse en B, quand il a commencé son mouvement en E seulement, comme l'arc CB est à l'arc EB. Il est facile maintenant de diviser l'arc BC de manière que les cordes calculées à partir de B, soient comme les nombre 1, 2, 3, 4, etc. Si on élève une fois le pendule jusqu'à 12, une autre fois jusqu'à 5, les vitesses en B seront comme 12 est à 5, etc. On peut nommer un arc ainsi divisé, une *échelle de vitesse* (1).

Dans ces circonstances, l'unité de vitesse n'est pas déterminée, et l'échelle donne seulement les rapports de vitesse; mais on peut disposer l'appareil de manière que l'échelle indique en pouces les vitesses absolues qu'acquiert le pendule (2).

(*) M. *Cavendish* est parvenu au même résultat par une expérience très-simple, en rendant sensible l'attraction de deux grosses boules de métal sur les extrémités d'un levier horizontal, au moyen de la torsion d'un fil fixé à son centre. (Voyez la *Mécanique* de M. *Poisson*, tome II, page 34.)

(1) Nommons V et V' les vitesses que le pendule acquiert par sa chute dans les arcs CB et EB; ces vitesses sont les mêmes que celle qu'un corps acquiert en chute libre, dans les lignes verticales DB et FB, page 41, § 12. On a donc $V^2 : V'^2 = DB : FB$ (chap. XII, § 4, n.° 3). Maintenant, d'après une propriété connue du cercle, on a $2AB : BC = BC : BD$, et $2AB : BE = BE : BF$; ici BC et BE désignent les cordes des deux arcs. Par conséquent, $BD = \frac{BC^2}{2AB}$ et $BF = \frac{BE^2}{2AB}$; ainsi $V^2 : V'^2 = BC^2 : BE^2$; ou $V : V' = BC : BE$. C'est-à-dire que les vitesses sont proportionnelles aux cordes des arcs qui restent à parcourir jusqu'au point le plus bas.

(2) La question est de trouver l'angle BAC, sous lequel il faut élever le pendule pour qu'il arrive en B avec une vitesse donnée V. D'après la note (1), page trente-neuf, on a $DB = \frac{V^2}{4g}$, lorsque le pendule doit avoir en B la vitesse

CHAPITRE XV.

De la communication du Mouvement par le choc.

§ 1. Puisque dans l'espace où nous vivons, il ne se trouve aucune place absolument vide de toute matière impénétrable, chaque corps qui se meut est en choc continuel avec d'autres corps; par conséquent on ne peut apprécier aucun mouvement avec une parfaite exactitude, si l'on ignore les lois d'après lesquelles les corps se communiquent les uns aux autres leur mouvement par le choc.

§ 2. Les appareils au moyen desquels on fait des recherches sur

---

V; maintenant, soit le rayon de la circonférence décrite, AB $=$ L; on en tirera AD $= L - \frac{V^2}{4g}$. Or, dans le triangle CDA, on a

$$AC : AD = 1 : \cos. BAC;$$

par conséquent

$$\cos. BAC = \frac{AD}{AC} = 1 - \frac{V^2}{4gL};$$

d'où l'on peut déduire l'angle BAC par les tables trigonométriques. Si, dans cette formule, on exprime g et L en pouces, et qu'on mette successivement pour V les nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, on aura une série d'angles qui montrera de combien le pendule doit être élevé, pour avoir 1, 2, 3, 4.... etc., pouces de vitesse en B. On peut donc, au moyen de ces angles, former sur l'arc BC une échelle des vitesses absolues.

L'isochronisme du pendule circulaire n'est qu'approché; il n'a lieu que pour les très-petits arcs, et l'on a vu que les oscillations deviennent plus lentes à mesure que les arcs sont plus grands. Mais on peut se proposer de chercher la forme qu'il faudrait donner à une ligne courbe, pour que l'isochronisme fût rigoureux dans tous les arcs: les géomètres ont déterminé cette forme, qui est celle de la courbe que l'on nomme *cycloïde* ou *roulette*, parce qu'elle peut être engendrée par un point d'un cercle roulant sur une ligne droite. Cette courbe est telle que la gravité décomposée suivant chacun de ses élémens, est toujours exactement proportionnelle à l'arc qui reste à parcourir jusqu'au point le plus bas; et c'est ce qui y produit l'isochronisme. On a tenté d'appliquer cette courbe aux horloges; mais la difficulté de sa construction rigoureuse l'a fait abandonner.

le choc des corps, se nomment *machines de percussion* ; et les parties essentielles de la principale de ces machines, sont deux pendules AB et CD (*fig.* 16) de longueur égale, et suspendus près l'un de l'autre, de manière que les corps pesans B et D qui les terminent, soient exactement en contact. Derrière eux se trouvent, sur le même support où ils sont attachés, des échelles de vitesses disposées selon ce qui est dit pag. 56, § 13, n.° 7. Ces échelles peuvent être tracées sur des arcs décrits des points A et C comme centres; ou plus commodément encore, elles peuvent être tracées sur une ligne droite EF ; de sorte que si l'on élève un des pendules jusqu'à un certain point G, le chiffre qui se trouve en G, indique la vitesse que le pendule aura au point le plus bas de sa route, où il ira choquer la masse D de l'autre pendule. On peut ainsi faire frapper un seul pendule contre l'autre, ou tous deux à la fois l'un contre l'autre, et observer les changemens qui arrivent dans leurs mouvemens par le choc.

Une autre machine consiste en une rangée de boules contiguës : celle-ci sert pour montrer comment le mouvement d'une seule ou de plusieurs, se transmet à toutes les autres.

Dans un autre appareil, deux pendules peuvent frapper à la fois un troisième corps.

Il existe encore un autre appareil qui appartient aux machines de percussion ; c'est celui par lequel on fait tomber des corps pesans d'une hauteur déterminée, sur un corps dur ou mou, afin d'observer les effets de ce choc (1).

§ 3. Selon la troisième loi du mouvement, de *Newton*, p. 19, § 8, il se fait à chaque choc de deux corps, une transmission de mouvement de l'un à l'autre ; mais on ne peut pas déterminer, en général, la quantité de mouvement qui se transmet, parce que cela dépend d'un grand nombre de circonstances particulières. Parmi ces circonstances se trouvent la direction des corps mis en mouvement, leur forme, leur masse, leur vitesse, leur force de cohésion, leur élasticité, leur état d'agrégation, etc. Puisqu'il faut avoir égard à toutes ces choses, la théorie du choc doit être assez étendue, et non pas sans difficulté dans quelques

---

(1) Les machines de percussion sont décrites dans '*s Gravesande, Elementa Physices*, et dans les *Leçons de Physique* de *Nollet*.

parties. Nous sommes donc obligés de nous borner à exposer ici les cas les plus remarquables, et principalement les chocs centraux et droits entre les corps élastiques et non élastiques. Le choc s'appelle *central,* quand les corps se meuvent avant le choc, dans la ligne droite qu'on peut mener par leurs deux centres de gravité, et que le choc même arrive dans cette ligne. Il s'appelle *droit,* quand les surfaces sont perpendiculaires à la direction du mouvement, à l'endroit où elles se rencontrent.

§ 4. Le seul cas que nous voulons développer avec un peu de détail, est le choc des corps non élastiques, parce que de celui-là se déduisent toutes les recherches sur le choc. Quand deux corps de cette nature se choquent l'un l'autre, le corps mis en mouvement communique à celui qui est en repos, ou qui est mu en sens contraire, la quantité de mouvement nécessaire pour qu'ils aient tous deux une égale vitesse. Il en est de même de deux corps dont l'un se meut plus vite et l'autre plus lentement. Lorsqu'ils ont acquis une vitesse égale, l'effet du choc est terminé, puisqu'aucune pression n'a plus lieu entre eux, et qu'ils poursuivent leur mouvement ensemble et avec une égale vitesse, comme s'ils formaient un seul corps.

Le cas qui se présente le plus fréquemment, mais qui est aussi le plus facile à déterminer, est celui où le corps choqué est en repos. On conçoit aisément, même sans calcul, que, dans ce cas, la vitesse après le choc doit être fort variée, et dépendre principalement des rapports de deux masses. Plus la masse du corps choqué est petite, comparativement avec celle du corps qui la vient frapper, moins il faudra de force pour la mettre en mouvement, et moins aussi la vitesse du corps choquant sera changée. Au contraire, plus cette masse est considérable, et plus le mouvement des deux corps sera lent après le choc. Si la masse du corps choqué est beaucoup plus grande que celle du corps choquant, le mouvement après le choc sera, non pas nul, à la vérité, mais absolument inappréciable pour nos sens. Un coup de marteau contre une muraille, une pierre qui tombe sur la terre, peuvent servir d'exemples pour ceci (1).

---

(1) Lorsque les masses et les vitesses qu'avaient les corps avant le choc, sont connues, il n'est pas difficile de trouver, par le calcul, la vitesse après le choc. Soient M la masse et V la vitesse du corps choquant, M' la masse et V' la

§ 5. Parmi les circonstances qui modifient l'effet du choc, nous parlerons d'abord de la force de cohésion. Le choc agit d'une manière immédiate seulement sur les parties touchées, et de celles-ci il se propage au loin dans les autres, d'autant plus vite que les corps sont plus durs et moins flexibles, et d'autant plus lentement que leurs particules cèdent davantage. Dans ce dernier cas, les corps sont comprimés et leur forme est changée ; ou bien, si la force de cohésion est moins considérable que la force du choc, ils sont rompus en fragmens plus ou moins nombreux. Enfin, selon que les corps sont durs ou tendres, solides ou mous, tenaces ou friables, etc., les effets sont modifiés différemment (*).

---

vitesse du corps choqué. On doit remarquer que V' doit être pris positivement, lorsque les deux corps se meuvent vers le même côté, et négativement lorsqu'ils sont dirigés l'un contre l'autre. Dans cette supposition, la somme des quantités de mouvement, avant le choc, est $= MV + M'V'$. Après le choc, les deux corps ont une vitesse égale, que nous nommerons x ; et la masse mise en mouvement est $= M + M'$. Par conséquent, la quantité du mouvement après le choc, est $= (M + M')\,x$. Ces deux sommes doivent être égales ; par conséquent, $x = \frac{MV + M'V'}{M + M'}$. La conséquence rapportée dans le texte, se déduit rigoureusement de cette formule : si M' est en repos avant le choc, on a $V' = 0$; par conséquent, $x = \frac{MV}{M + M'} < V$. Si V' n'est pas égal à o, mais que la masse M' soit infiniment petite, et comme nulle par rapport à M, on a $x = \frac{MV}{M} = V$, c'est-à-dire que le corps choquant ne perd qu'une partie infiniment petite de sa vitesse. Si au contraire la masse M est assez petite pour pouvoir être négligée relativement à M', on a $x = \frac{M'V'}{M'} = V'$, c'est-à-dire que le corps choqué n'acquiert ni ne perd rien par le choc, ou, du moins, ne perd qu'une partie infiniment petite de sa vitesse. Ainsi toutes les conclusions du texte, se trouvent actuellement démontrées.

(*) La nature a placé dans notre propre structure, un très-grand nombre de moyens de résistance au choc. Un homme qui saute de très-haut, arrive à terre, les membres demi-fléchis : par l'effet du choc, toutes ces flexions augmentent ; mais le mouvement se détruit peu-à-peu, en les produisant, et le choc est sans inconvénient ; tandis que si le même homme eût touché la terre dans l'état de rectitude du corps et des membres, il aurait pu en résulter quelque fracture, ou du moins une violente commotion du cerveau.

§ 6. L'élasticité sur-tout a une grande influence sur l'effet du choc. Puisque les particules des corps élastiques cèdent, elles sont comprimées tant que la vitesse des deux corps est encore inégale. Par suite de cela, l'effet du choc ne cesse pas pour eux comme pour les corps non élastiques, aussitôt que la vitesse est égale dans les deux corps; mais ils s'écartent alors l'un de l'autre, parce qu'ils s'efforcent de reprendre leur forme première; et s'ils étaient parfaitement élastiques, ils le feraient justement avec la même force qui les a d'abord comprimés. Ainsi, le corps choquant perd justement le double du mouvement, ou le double de la vitesse, et le corps choqué en gagne justement le double de ce qu'il aurait eu, s'ils eussent été non élastiques. Enfin, lorsque les corps sont imparfaitement élastiques, la perte et l'augmentation de mouvement sont, à la vérité, plus considérables que pour les corps non élastiques, mais non pas cependant suivant une proportion double, comme dans les corps dont l'élasticité est parfaite (1).

---

(1) Soient M la masse du corps choquant, V sa vitesse avant le choc et u sa vitesse après le choc : soient M′ la masse du corps choqué, V′ sa vitesse avant le choc et u' sa vitesse après le choc. Si les deux corps n'étaient point élastiques, leur vitesse commune après le choc, serait $x = \frac{MV + M'V'}{M + M'}$ (§ 4, note) et M aurait perdu en vitesse $V - x$. Cette perte serait double dans les corps parfaitement élastiques; par conséquent égale à $2\,(V - x)$, et seulement un peu plus grande que $(V - x)$ dans les corps imparfaitement élastiques. Soit donc n un nombre entre 1 et 2; on peut supposer généralement la perte de vitesse $= n\,(V - x)$; il reste donc, après le choc, la vitesse $u = V - n\,(V - x)$: semblablement le corps choqué M′, s'il n'est point élastique, gagnera par le choc $x - V'$, ou $2\,(x - V')$, s'il est parfaitement élastique, ou, en général, $n\,(x - V')$. Sa vitesse, après le choc, sera donc $u' = V' + n\,(x - V')$. Si dans les valeurs de u et de u' on met, au lieu de x, sa valeur $x = \frac{MV + M'V'}{M + M'}$, on obtient par une transformation très-simple,

$$u = V - n\left(\frac{V - V'}{M + M'}\right)M',$$

$$u' = V' + n\left(\frac{V - V'}{M + M'}\right)M.$$

Ces deux formules sont d'un usage très-général. Si l'on suppose $n = 2$, elles servent pour les corps parfaitement élastiques : si l'on suppose $n = 1$, elles ser-

§ 7. Les variations qui proviennent de la direction du choc sont encore plus multipliées. Nous remarquerons seulement cette seule loi, qu'à chaque choc *excentrique*, il se produit toujours un mouvement circulaire autour du centre de gravité ; ce qui rend l'estimation mathématique de l'effet, très-difficile dans beaucoup de cas. La loi est, au reste, si générale, que, quand deux corps tiennent ensemble par un lien visible, ou même par le lien invisible d'une force attractive, aucun mouvement partiel d'un des corps, n'est possible sans que l'autre s'en ressente ; et si l'un d'eux est mis en mouvement, tous deux commencent à tourner autour du centre de gravité commun. Ainsi se meuvent la lune et la terre autour de leur centre commun de gravité ; de même les planètes ne se meuvent pas seulement, à proprement parler, autour du soleil ; mais elles tournent avec lui autour du centre de gravité de tout le système solaire, etc.

§ 8. Nous ne rapporterons qu'un seul cas du *choc oblique*. Si une boule élastique A (*fig.* 17) est jetée dans la direction BA contre une paroi élastique, l'expérience apprend qu'elle rebondit dans la direction AH sous un angle égal. Pour expliquer cet effet, il n'y a qu'à prendre la ligne BA pour représenter la force du choc, et décomposer cette force en deux autres dont l'une FA est parallèle à la paroi CD, et l'autre EA lui est perpendiculaire. La force EA produit contre la paroi, un choc dont l'effet consisterait, si cette force agissait seule, à faire bondir le corps avec une force AE, égale à celle avec laquelle il a frappé la paroi dans cette direction. Quant à l'autre force FA, si elle ne trouvait aucun obstacle, le corps serait poussé dans la direction AG. Ce corps est donc sollicité après le choc par deux forces, dont l'une le pousse vers la direction AE, et l'autre vers la direction AG : il suivra donc la diagonale AH (*). En général, le choc oblique et le choc excentrique se ramènent, par la décomposition des forces, aux lois des chocs centraux et droits.

§ 9. Nous avons aussi indiqué l'état d'agrégation des corps, parmi

vent pour les corps non élastiques. Enfin, si les corps ont une élasticité imparfaite, n a une valeur moyenne qui peut être trouvée par des expériences.

(*) A l'égard de la lumière, par exemple, *l'angle de réflexion* HAG *est égal à l'angle d'incidence* BAF, ce qui prouve que ses molécules sont douées d'une élasticité parfaite.

les circonstances qui modifient l'effet du choc. Si un corps solide se meut dans une matière fluide, ou si un fluide se meut dans un autre, ces corps sont en choc continuel l'un par rapport à l'autre. Mais, comme cette partie difficile de la théorie, appartient à l'étude des corps liquides ou aériformes, nous remarquerons seulement que l'on observe encore dans ces mouvemens, l'égalité d'action et de réaction qui constitue le troisième principe de *Newton;* car, conformément à ce principe, le corps qu'on fait mouvoir perd justement autant de mouvement qu'il en communique au milieu fluide. On doit avoir égard à cette loi, si l'on veut juger exactement d'un mouvement quelconque qui se passe dans l'air ou dans l'eau (1).

CHAPITRE XVI.

Des Mouvemens de vibration et du Son qu'ils produisent, ou premiers principes d'Acoustique.

§ 1. Tout ce que nous savons sur la production du son, nous a été appris par l'observation des corps solides sonores; c'est pourquoi l'*Acoustique* sera exposée ici, et non pas, comme on le fait ordinairement, à l'article de la théorie de l'air.

§ 2. Si un fil de métal élastique tendu, ou toute autre espèce de corde d'instrument AB (*fig.* 18) est tiré de sa direction rectiligne AB, et ensuite abandonné à lui-même, il ne revient pas immédiatement à cette direction; mais, semblable à un pendule écarté de la verticale, il va et revient avec beaucoup de vitesse, de part et d'autre de la ligne AB, en prenant, dans ses écarts, des courbures ACB, ADB, successivement opposées. Un mouvement de ce genre, lorsqu'il est très-rapide, se nomme *mouvement d'oscillation* ou de *vibration.* La théorie de ces mouvemens n'est pas facile : nous allons, par cette raison, exposer d'abord historiquement leurs lois, et ensuite nous les confirmerons par les expériences (2).

---

(1) On trouve un détail complet des lois du choc pour les corps solides, dans le *Dictionnaire de Physique* de *Gehler,* à l'article *Stoss.*(Voyez aussi *s'Gravesande, Physices Elementa mathematica.*) Voyez sur-tout la *Mécanique* de M. *Poisson.*

(2) Quelques écrivains comprennent, sous l'expression *mouvement de vibration,*

§ 3. Les vibrations d'une corde ont cela de commun avec les oscillations du pendule, qu'elles sont presque exactement isochrones. Le temps d'une vibration dépend de la longueur, du poids, de la tention de la corde, et non pas de la nature de la substance dont elle est formée.

§ 4. Lorsque les vibrations sont très-vives, on entend un *ton* déterminé qui est plus ou moins *grave* ou *élevé*, selon la vitesse des vibrations.

§ 5. On appelle *monocorde* ou *sonomètre* une tablette de bois sur laquelle on tend une seule corde ou un très-petit nombre de cordes, de manière qu'on peut changer leur longueur ainsi que leur tension. Cet instrument est très-commode pour faire concevoir les lois des oscillations. Quand on fait des expériences avec cet instrument, on doit admettre le principe suivant qui se démontre par le calcul, c'est que *les temps d'oscillation d'une même corde, tout le reste demeurant égal, sont proportionnels à sa longueur* (1).

---

un frémissement intérieur des plus petites particules d'un corps, par lequel elles changent réellement leurs situations respectives, quoique d'une manière imperceptible pour nos sens. Sans doute il y a de semblables frémissemens, mais ils ne produisent jamais de son. (*Voyez* le *Dictionnaire de Physique* de *Gehler*, tome III, page 801.)

(1) Nous avons trouvé (pag. 52, note 1) que la durée T d'une oscillation d'un pendule simple dont la longueur = L, est

$$T = \pi \sqrt{\frac{L}{2g}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

On démontre d'ailleurs que l étant la longueur de la corde, f la force qui la tend, p son poids, g la gravité, $b = \sqrt{\frac{2glf}{p}}$; la durée d'une vibration, est $= \frac{l}{b}$: si donc on pose $t = \frac{l}{b}$, on aura

$$t = l \sqrt{\frac{p}{2glf}} = \sqrt{\frac{pl}{2gf}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

Sous l'hypothèse $t = T$, les formules (1) et (2) donneront

$$\pi^2 . \frac{L}{2g} = \frac{pl}{2gf}, \text{ d'où } L = \frac{lp}{\pi^2 f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

§ 6. Au moyen du monocorde, on démontre qu'à chaque rapport d'oscillations ou de la longueur de la corde, répond un intervalle musical particulier ; ainsi :

Pour le rapport.............	1 : 2	l'octave.
	2 : 3	quinte.
	3 : 4	quarte.
	4 : 5	tierce majeure.
	5 : 6	tierce mineure.
	6 : 7	seconde superflue.
	7 : 8	seconde.
	8 : 9	ton entier.
	9 : 10	ton entier.
	10 : 11	ton entier.
	11 : 12	demi-ton.
	12 : 13	demi-ton.
	13 : 14	demi-ton.
	14 : 15	demi-ton.
	15 : 16	demi-ton.

Telle est la longueur du pendule synchrone aux oscillations de la corde. Le *maximum* de la valeur L, dans notre système musical, est d'environ un millimètre. La formule (2) sert pour toutes les cordes en général, quelle que soit la matière qui les compose.

Considérons une corde cylindrique, d'une épaisseur et d'une élasticité constante dans toute sa longueur : soit r le rayon de sa section transversale ou la moitié de son épaisseur : appelons δ le poids spécifique de la matière qui la compose. Si nous désignons par π la demi-circonférence dont le rayon $= 1$, le volume de la corde sera $= \pi r^2 l$, et son poids $p = \pi r^2 l\delta$. Qu'on mette cette valeur dans la formule (2), on aura

$$t = \sqrt{\frac{\pi r^2 l^2 \delta}{2gf}} = rl\sqrt{\frac{\pi\delta}{2gf}} \text{ .... } (4).$$

Cette formule est aussi générale que la précédente, et elle est plus commode pour les cordes qui sont homogènes dans toute leur longueur.

Si n désigne le nombre des vibrations que fait la corde dans l'unité de temps, on aura

$$(4) \text{ .... } n = \frac{1''}{t} = \sqrt{\frac{2gf}{pl}},\ L = \frac{2g}{n^2p^2} \text{ .... } (5).$$

Ainsi *la tension* f *d'une corde de matière et de grosseur données, restant la même, la durée de chaque vibration, est proportionnelle à la longueur de cette corde : si la longueur est constante et que sa tension varie, la durée d'une de ses vibrations sera réciproquement proportionnelle à la racine carrée*

Les rapports exprimés par des nombres plus composés, ne servent que peu dans la musique. Les cinq premiers, en y ajoutant le rapport de 3 : 5, qui donne la sixte, sont appelées *consonnances* ou *intervalles consonnans;* les autres se nomment *dissonnances.*

§ 7. Une corde rend le ton qui lui est propre, soit en la frappant, soit en passant sur elle un archet de violon. Dans le premier cas, une oreille exercée entend, outre le ton fondamental de la corde, une infinité de tons relatifs. Si l'on nomme 1 le temps de vibration du ton fondamental, $\frac{1}{2}$ sera le temps de vibration du ton relatif le plus prochain, et les suivans seront $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{7}$, etc. Ces tons relatifs sont produits, parce qu'en même temps qu'il se fait une oscillation de la corde entière (*fig.* 18), sa moitié (*fig.* 19), son tiers (*fig.* 20), son quart (*fig.* 21), vibrent aussi, ce qui rend le mouvement composé de la corde fort compliqué. Lorsqu'on passe un archet sur la corde, il ne paraît pas qu'il se produise de semblables tons relatifs. Les points G (*fig.* 19), K et L (*fig.* 20), O, P et Q (*fig.* 21), dans lesquels la direction de la vibration change, se nomment *nœuds d'oscillation.* On peut, avec une certaine adresse, ne produire qu'un des tons relatifs.

§ 8. On peut, au moyen d'un archet, tirer des tons, non-seulement des cordes, mais encore de tous les corps tant soit peu élastiques.

---

du poids capable d'opérer la tension et qu'on appelle le poids tendant. *La longueur de la corde et ce poids restant les mêmes, le temps est proportionnel à* $\sqrt{p}$. « On trouve encore par le calcul, et on démontre par l'expérience : 1° *que dans des cordes semblables et également tendues, les nombres des vibrations dans un temps donné, sont en raison inverse des longueurs ;* 2° *qu'avec la même longueur et des tensions égales, les nombres des vibrations dans des temps donnés, sont en raison des diamètres :* 3° *que la longueur et le diamètre restant les mêmes, les nombres des vibrations dans un temps donné, sont en raison directe des racines carrées des tensions ou des poids qui les produisent.* »

Comme je ne connais aucun ouvrage dans lequel la théorie des vibrations des cordes, soit développée d'une manière compréhensible pour les commençans, je me bornerai à renvoyer le lecteur à l'*Acoustique* de *Chladni* (Paris, chez Me Ve *Courcier*), qui y donne une liste complète de tous les ouvrages qui traitent de cette théorie. On trouve des expériences qui développent les lois les plus distinctes de ce mouvement, dans *s'Gravesande*, *Physices Elementa mathematica*, Leyde, 1749, tome I, page 367.

Chladni à qui l'Acoustique doit tant de découvertes précieuses, a donné un moyen de rendre presque visibles les oscillations des plateaux et de beaucoup d'autres corps, en les saupoudrant de sable également répandu. (Voyez *Chladnis Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, Leipsick, 1787, et l'*Acoustique* du même auteur, Paris, chez M.me V.e Courcier.)

§ 9. Après le monocorde, rien n'est plus utile pour les recherches théoriques sur le son, que les vibrations des lames élastiques assujéties fixement à l'une de leurs extrémités. On peut les prendre assez longues pour pouvoir compter leurs vibrations. On peut aussi, en les raccourcissant par degré, rendre sensible cette loi, que *les temps d'oscillations, décroissent comme le carré de la longueur*. En diminuant leur épaisseur, on parvient à produire des oscillations si rapides, qu'elles donnent un son sensible à l'oreille. On peut, par conséquent, trouver, au moyen du calcul, les temps d'oscillations qui échappent à l'observation. Enfin, en joignant à ceci l'étude du monocorde, on peut confirmer par l'expérience tout ce que la théorie nous a appris sur les tons.

§ 10. On démontre, par des expériences de ce genre, que le plus grave de tons appréciables, est celui que donne une corde qui fait environ 32 vibrations par seconde; chacune des octaves de ce son, répond à un nombre de vibrations double de celui qui le précède; ce qui donne la série suivante :

Nombre des oscillations de la corde dans une seconde de temps.

Ton le plus grave	32 oscillations.
1.re octave	64
2.e	128
3.e	256
4.e	512
5.e	1024
6.e	2048

Il y a aussi, dans le haut, une limite aux tons appréciables; la 9.e octave, au-dessus du ton le plus grave, passe pour le ton le plus élevé qui puisse être sensible à l'ouïe.

§ 11. Quoique nous ne devions examiner les propriété de l'air que dans la cinquième section; nous pouvons cependant supposer comme

connu, que l'air possède un haut dégré d'élasticité, c'est-à-dire, qu'il se laisse comprimer par la pression, et que la pression cessant, il se dilate de nouveau. D'après cela, on comprend facilement que les vibrations d'un corps sonore, doivent nécessairement produire un semblable mouvement de vibration, lequel se peut propager jusqu'à une grande distance du corps sonore. Si l'on réfléchit maintenant à ce qui arrive dans l'air environnant, lorsqu'une corde AB, (*fig.* 22), commence à vibrer, on se convaincra facilement qu'autour de la corde, il doit se produire des couches d'air comprimées A*c*B, A*d*B, A*e*B, A*f*B, A*g*B, A*h*B, etc., qui alternent avec des couches d'air raréfiées. Ces pressions et ces raréfactions alternatives, qu'on nomme *ondulations du son*, se succèdent avec une grande vitesse près de la corde, sans que pour cela les particules d'air isolées qui les composent, changent sensiblement de place. C'est un mouvement qui a beaucoup de ressemblance avec les ondulations circulaires que produit une pierre qu'on jette dans l'eau tranquille. Lorsque ce mouvement de l'air se propage jusqu'à notre oreille, le son nous devient sensible.

§ 12. L'expérience apprend que tous les sons se propagent également vite, sans égard à la vitesse des vibrations. Dans l'air atmosphérique, cette vitesse est, selon des observations exactes, de 1042 pieds dans une seconde (*); mais le son se propage aussi à travers l'eau

(*) La vitesse du son a été donnée diversement par les savans.

NOMS.	VITESSE PAR SECONDE.	*OBSERVATIONS.*
Newton	960 p. aug. 296^{m} ...	*Trans. Phil.* celle
Roberts	1300 p. aug. 396^{m}	qu'il a donnée lui-
Boyle	1200 .... 366^{m}	même, est de 298^{m} :
Walker	1338 .... 409^{m}	corrigée elle s'élève
Mersenne	.... 349^{m}	à 345^{m}.
Flamsteed et Halley	.... 348^{m}	
Savans de Florence	.... 351^{m}	
Savans français	.... 358^{m}	
Au Chili	.... 374^{m} ...	Le term. Fah. mar-
M. Millington	.... 336^{m}	quant 73°,5 (23 à 24
Van Rees (Richard)	.... 341^{m},54	cent.) le barom. mar-
Bengenberg à Dusseldorf	.... 333^{m},7	quant 697 millimèt.^{s}
Thuri, Maraldi, La Caille	.... 337^{m}	résultat de la théorie.
Laplace	.... 345^{m},35..	Au moyen de la for-
Clément et Désormes	.... 331^{m},97	mule de *Newton* et
Biot	.... 340^{m}	d'un théorème.

et les corps solides, et avec une vitesse encore plus grande, ainsi que le prouvent les expériences.

§ 13. Quant à la force du son, les observations ont montré qu'elle croît dans un air plus dense, et qu'elle diminue dans un air plus rare; elle décroît aussi avec l'éloignement, et vraisemblablement en raison inverse du carré de la distance.

§ 14. Il est difficile de déterminer par des expériences, si le son ne se propage qu'en ligne droite, ou s'il se transmet aussi dans des directions curvilignes, puisque les jugemens de nos sens, sur la direction du son, ont beaucoup d'incertitude. La répercussion du son par les corps solides, selon les lois du choc élastique, rend la première opinion vraisemblable. C'est à cette répercussion que se rapportent les phénomènes de l'écho, du porte-voix, du cornet acoustique, et des voûtes qui renvoient les sons (1).

§ 15. Dans les instrumens à vent, ce n'est pas le corps solide, mais la colonne d'air interposée, qui forme le corps sonore. Cependant, les propriétés particulières de ces vibrations, ne sont pas encore suffisamment éclaircies.

§ 16. Indépendamment de l'élévation et de la gravité des tons, il y a encore un grand nombre de modifications du son, sur la formation desquelles on ne peut rien dire de déterminé, quoique l'oreille les distingue avec beaucoup d'exactitude. Parmi ces modifications, se trouvent les sons particuliers de chaque instrument et de la voix humaine. L'articulation de la voix humaine est sur-tout remarquable, ainsi que les parties qui la constituent, et que nous nommons *voyelles* et *consonnes*. Nous exprimons ces diverses variétés du son par les mots *ton*, *bruit*, *murmure*, etc.

§ 17. On trouve une description de l'organe de l'ouïe, dans *Gehler*, art. *Gehor* : la quatrième partie de l'*Acoustique* de *Chladni*, traite de ceci encore plus complétement. On doit chercher une description de l'organe de la voix, dans les ouvrages d'Anatomie et de Physiologie.

Nous devons encore citer les expériences de MM. les professeurs *G. Moll* et le D.r *Van Beek*, Phil. tr., 1823, part. II, celles de M. *Galbraith*, Phil. mag., année 1825, et de M. *Goldingham*, au fort S.t-Georges, à Madras.

(1) Pour avoir plus de détails sur les phénomènes de l'Acoustique, on peut consulter mon *Traité de Physique*, tome, II, page 1 et suivantes. Tous les objets qu'indique ici M. *Fischer*, y sont traités avec étendue.

TROISIÈME SECTION.

DE LA CHALEUR.

CHAPITRE XVII.

De la Chaleur en général, de sa force de dilatation, du Thermomètre et du Pyromètre.

§ 1. La chaleur que nous connaissons d'abord par une sensation particulière, et dont nous nommons les graduations principales, *feu, chaleur* et *froid*, a une grande influence dans la nature. Par sa diminution, presque tous les corps liquides, et même beaucoup de substances aériformes, se solidifient; par son augmentation, presque tous les liquides, et même beaucoup de solides, deviennent aériformes. Sans la chaleur, il n'y aurait aucune vie, aucune organisation; enfin, l'emploi que nous en faisons pour nos besoins naturels ou artificiels, est si varié et d'une telle importance que, si l'usage du feu était retiré à l'homme, il serait rabaissé à l'état d'imperfection des animaux. Ceci doit suffire pour engager à étudier avec soin cette force importante de la nature.

§ 2. La cause de la chaleur échappe à nos sens. Les physiciens mécanistes penchent à l'attribuer à un mouvement intérieur des plus petites particules des corps. Les physiciens chimistes admettent unanimement pour principes de ces phénomènes, une matière propre, qu'ils nomment *calorique*. Nous trouverons dans la suite, sinon des preuves décisives, du moins des raisons très-fortes à l'appui de cette dernière opinion. Jusques-là nous allons employer le mot calorique, seulement comme une manière commode de s'exprimer.

§ 3. Le premier effet de la chaleur que nous devons observer, c'est qu'elle dilate tous les corps; les solides assez peu (1), les liquides

(1) On prouve la dilatabilité des corps solides, par une expérience très-simple. On a une barre métallique AB, (*fig.* 23), qui, étant froide, passe exactement

davantage (1), et les substances aériformes dans un dégré plus élevé (2).

§ 4. Ce phénomème a offert un moyen naturel et simple pour mesurer avec la plus grande exactitude, les accroissemens et les diminutions de la chaleur. Les instrumens qui servent à cet usage, se nomment *thermomètres*. Ce fut un hollandais, nommé *Drebbel*, qui imagina le premier instrument de cette espèce, à la fin du 16.me siècle; mais il était encore très imparfait. Dans le 17.me siècle, les académiciens de Florence en perfectionnèrent la construction; enfin, au 18.me, *Farenheit*, à Dantzick (*), et *Réaumur*, en France, découvrirent en même temps les principes exacts de la fabrication de ces instrumens. (Pour l'histoire de cette découverte, *voyez Gehler* et *Fischer*, art. *thermomèter*. On la trouve encore plus détaillée dans la *Pyrométrie* de *Lambert*, Berlin, 1779.)

§ 5. L'appareil le plus en usage maintenant, est celui qu'on nomme, avec raison, *thermomètre de Deluc*, parce que cet estimable savant s'en est sur-tout occupé dans ses recherches, quoiqu'il fût déjà en usage auparavant. Voici la description de ses parties essentielles : une petit boule de verre B, est soufflée au bout inférieur d'un tube de ver calibré AB, (*fig.* 25); ensuite on chauffe cette boule, le tube étant ouvert, afin de dilater l'air qu'il renferme, puis on le renverse et on le plonge par l'autre bout dans du mercure. Peu à peu l'air intérieur, en

---

entre les deux colonnes verticales CD et EF : on échauffe cette barre sans chauffer l'appareil CDFE, alors elle ne peut plus passer entre les colonnes CD et EF, et elle est retenue dans une situation oblique entre elles.

(1) Quand on remplit un flacon AB, (*fig.* 24), avec un liquide, et qu'on y plonge un tube CD, ouvert par les deux bouts, en prenant soin de luter exactement l'orifice F, l'eau s'élève dans le tube lorsque le flacon est échauffé, et finit bientôt par le remplir entièrement.

(2) Si l'on met seulement dans le flacon, assez d'eau pour que l'ouverture inférieure du tube y plonge, et qu'on échauffe l'air intérieur, l'eau montera très-sensiblement dans le tube. Ou mieux encore, ne laissez que de l'air dans le flacon, et après avoir luté très-exactement l'orifice F avec le tube, faites entrer dans celui-ci une goutte de liqueur colorée; le moindre refroidissement de l'air intérieur fera descendre la goutte et la précipitera dans le flacon; au contraire, le moindre échauffement la fera monter et la chassera hors du tube.

(*) *Farenheit* était établi en Hollande, lorsqu'il donna le thermomètre à mercure.

se refroidissant, se condense, et le mercure monte dans le tube par la pression hydrostatique de l'air extérieur, ainsi que nous le démontrerons plus tard : mais nous donnons ici cette ascension comme un fait que l'on peut aisément vérifier. Quand le tube et une partie de la boule sont remplis de mercure, on retourne l'instrument, on le ferme à la lampe, et l'on plonge la boule dans l'eau bouillante; le mercure remonte jusqu'à un certain point constant E qu'on appelle *point d'ébullition*, et il demeure invariablement à ce point, tant que la boule de verre reste dans l'eau bouillante; ensuite on plonge la boule dans la glace fondante, le mercure baisse, mais seulement jusqu'à un certain point G, où il demeure invariablement fixé, tant que la glace n'est pas entièrement fondue : ce point se nomme *point de congélation naturelle.* La distance GE entre les deux points ainsi déterminés, se nomme la *distance fondamentale.* On attache le tube à une petite planche, sur laquelle on divise cette distance fondamentale en 80 parties, et l'on continue de marquer des divisions égales au-dessous de G et au-dessus de E, aussi loin que le tube du thermomètre peut s'étendre. En G, on marque zéro, et l'on commence à compter de ce point, soit en allant vers le haut ou vers le bas.

§ 6. Qu'on divise GE en 180 parties, qu'on écrive zéro en K qui est un point placé à la 32.e des ces parties au-dessous de G, et qu'on commence à compter de là, en allant vers le haut et vers le bas, de sorte que le point G soit marqué 32, et que le point E porte 212; on aura un *thermomètre de Farenheit*, dans lequel K se nomme *point de congélation artificielle.* Si l'instrument n'est pas rempli avec du mercure, mais avec de l'alcool, et qu'il soit gradué comme il est dit § 5, on a le véritable thermomètre de *Réaumur.* La nouvelle échelle française du thermomètre à mercure, est la même que l'échelle suédoise de *Celsius.* La distance fondamentale est divisée en 100 parties, qu'on commence à compter du point de congélation (1).

---

(1) Cette méthode suppose que le tube est bien cylindrique dans son intérieur, en sorte que des quantités égales de mercure répondent à des divisions égales en longueur. Or, c'est ce qui ne se rencontre jamais, quelque soin qu'on prenne à choisir les tubes; et voilà pourquoi il n'y a presque pas de bons thermomètres; peut-être même pourrait-on dire qu'il n'y en a point du tout. *Gay-Lussac* qui a fait des expériences très-exactes sur la dilatation des gaz, a eu besoin d'exé-

§ 7. Le thermomètre à air consiste en un tube ABC, (*fig.* 26), recourbé en B, et terminé par une boule C. La boule est remplie en

---

cuter des thermomètres parfaits; et voici le moyen qu'il a imaginé pour se les procurer, en divisant ses tubes exactement.

Prenez un tube de verre ouvert par les deux bouts, introduisez-y une certaine quantité de mercure, il en résultera une petite colonne intérieure au tube. Marquez sur le verre même, les points extrêmes où aboutit cette colonne, et promenez-la ainsi successivement sur toute la longueur du tube, à partir d'une de ses extrémités; vous aurez ainsi une première échelle de parties égales, dont je nommerai la longueur l. (On fera bien de s'aider d'une figure facile à imaginer.)

Faites ensuite sortir une portion du mercure que vous avez introduit; par exemple, un peu moins de la moitié. Si vous amenez la colonne restante à une des extrémités du tube, elle n'atteindra plus la première division, mais elle dépassera la moitié de l'intervalle l; marquez le point où elle se termine. Amenez maintenant son autre extrémité à la première division; elle n'atteindra plus l'orifice du tube, mais elle occupera plus de la moitié de l'intervalle l. Marquez encore le point où elle s'arrête. Ce point et le précédent sont également éloignés du milieu de l'intervalle l. Ainsi vous aurez le milieu, en prenant la moitié de l'intervalle qui les sépare; car si vous avez fait sortir, à-peu-près, la moitié du mercure introduit d'abord, et que le tube ne soit pas très-inégal, la distance des deux points doit être peu considérable, et le tube peut bien être regardé comme cylindrique dans une si petite étendue. En répétant la même expérience sur toutes les grandes divisions successivement, vous marquerez le milieu de chacune d'elles, ce qui vous donnera une nouvelle échelle de parties égales qui seront deux fois plus nombreuses. Divisez encore ces dernières par la même méthode, et ainsi de suite; vous parviendrez ainsi à avoir sur votre tube, tel nombre de divisions égales que vous voudrez.

Alors faites souffler une boule à l'une des extrémités du tube, introduisez-y du mercure bien pur et bien sec, que vous ferez bouillir dans le tube même; puis achevez votre thermomètre comme à l'ordinaire, en marquant le point de la glace fondante, et celui de l'ébullition de l'eau : comptez combien il se trouve, entre ces points, de divisions égales, et ce nombre vous donnera l'échelle de votre thermomètre qui, construit sur ces principes, sera parfaitement exact.

Il sera facile de réduire ces degrés en degrés de *Réaumur* ou de *Farenheit*, ou en telle autre échelle que l'on voudra; car, soit n le nombre des divisions comprises entre la glace et l'eau bouillante; il est facile de voir que chaque degré de ce thermomètre, en vaudra $\frac{80}{n}$ de *Réaumur*, $\frac{180}{n}$ de *Farenheit* et $\frac{100}{n}$ de l'échelle centigrade.

partie avec de l'air; le reste de l'espace contient du mercure qui s'élève à-peu-près jusqu'à la moitié de la partie la plus allongée du tube. Lorsque l'air est chauffé en C, il se dilate, et le mercure s'élève; lorsque l'air est refroidi, il redescend. Si les points de congélation et d'ébullition sont déterminés, comme il est dit ci-dessus (pag. 71, § 5), et si la distance fondamentale est divisée en 370 parties, on a le thermomètre à air de *Lambert* (1).

§ 8. Le mercure a, pour les usages thermométriques, les avantages

---

Lorsque l'on marque le degré de l'ébullition de l'eau, il faut noter en même temps la hauteur du baromètre qui indique le poids de l'atmosphère; car l'eau bout à une moindre chaleur, quand le baromètre est plus bas, et elle en exige une plus grande, quand le baromètre est haut. C'est ce que l'on verra quand il sera question du poids de l'atmosphère, dans le chapitre suivant.

Le thermomètre est un instrument si généralement utile, et d'un usage si fréquent, que j'ai cru que les physiciens qui aiment l'exactitude, ne me sauront pas mauvais gré d'être entré dans ces détails.

(1) Lorsqu'on veut mesurer très-exactement de petits changemens de température, on emploie une autre sorte de *thermomètre à air*. On prend, comme pour le thermomètre ordinaire, un tube de verre terminé par une boule creuse; mais au lieu d'y introduire du mercure, on se sert de l'air même qu'il contient, pour mesurer les variations de température par les changemens de son volume. A cet effet, il faut séparer cet air intérieur d'avec l'air extérieur. Pour y parvenir, on prend la boule dans la main, afin d'échauffer un peu l'air qui s'y trouve renfermé; cet échauffement le dilate et en chasse une partie; alors on met à l'orifice du tube un petite goutte d'esprit de vin coloré, on retire la main, l'air intérieur se refroidit, se contracte, la petite goutte entre dans le tube, et ensuite elle descend ou elle monte, suivant que la masse d'air intérieur se resserre ou se dilate; ce qui a lieu selon que la chaleur diminue ou augmente. La sensibilité de cet appareil dépend du rapport des volumes du tube et de la boule, et l'on peut la calculer d'après les lois connues de leurs dilatations. Mais on sent qu'à cause de cette sensibilité même, il ne peut être employé qu'entre des limites très-peu étendues; car, si le refroidissement est trop grand, la goutte liquide se précipite dans la boule; et si au contraire, il survient une trop grande augmentation de chaleur, la bulle est chassée hors du tube.

Si l'on souffle ainsi deux boules aux deux extrémités d'un même tube, et qu'on y introduise par un très-petit trou que l'on ferme ensuite, une goutte d'esprit de vin coloré, cette bulle ne sera influencée que par la différence de température des deux masses d'air qu'elle sépare. Cet instrument qui peut servir dans une infinité d'expériences délicates, se nomme un *Thermoscope*.

suivans : 1.° il supporte, avant de bouillir ou de devenir aériforme, plus de chaleur que tous les autres fluides; et l'on peut, en l'employant, prolonger l'échelle au-dessus du point d'ébullition de l'eau, jusqu'à 252 de *Deluc*, et 600 de *Farenheit*. Au-dessous du point de congélation, elle peut être prolongée jusqu'à 32 de *Deluc*, et — 40 de *Farenheit*. A ce degré, le mercure devient solide. 2.° On peut avoir le mercure parfaitement pur, et jouissant de propriétés toujours semblables, plus facilement qu'aucun autre fluide; par conséquent, les thermomètres à mercure peuvent plus aisément être rendus comparables les uns aux autres. 3.° Le mercure est plus sensible à l'action de la température que tout autre fluide, c'est-à-dire, qu'il marque plus promptement les effets de la chaleur et du froid. 4.° Son avantage essentiel consiste en ce que sa dilatation est presque proportionnelle à la marche effective de la chaleur, du moins entre les points d'ébullition et de congélation. C'est ce que *Deluc* a démontré par une série d'expériences très-exactes (1).

---

(1) Quand on mêle deux parties d'eau d'un poids égal, mais de températures différentes, un thermomètre plongé dans le mélange, doit indiquer le degré justement intermédiaire entre leurs deux degrés de chaleur, pourvu que sa marche soit proportionnelle à celle de la chaleur. C'est sur cela que se fonde la méthode de *Deluc*, pour éprouver la marche du thermomètre à mercure, comparativement avec celle de la chaleur. (*Voyez* les Recherches de *Deluc* sur le modifications de l'atmosphère.)

L'expérience précédente est extrêmement difficile à faire avec exactitude; car, pour y parvenir, il faudrait soustraire totalement les corps sur lesquels on opère, à l'influence des corps étrangers. Cependant la vérité qu'elle tend à établir, étant extrêmement importante, on a cherché à le faire d'une autre manière qui fût plus sûre et plus exacte. C'est à quoi *Gay-Lussac* est heureusement parvenu, comme on va le voir.

Ce qui fait que la dilatation d'un corps, peut n'être pas proportionnelle à la chaleur, c'est que, si ce corps change d'état, sa capacité pour la chaleur change aussi, en sorte qu'il en faut plus ou moins qu'auparavant pour faire changer sa température d'un même nombre de degrés; et, quoique l'on puisse se tenir entre ces extrêmes, et ne pas aller, par exemple, jusqu'à l'ébullition qui fait passer le corps de l'état liquide à l'état aériforme, cependant on peut ne pas éviter tout-à-fait ces inconvéniens; car il est de fait que les corps participent long-temps d'avance à ces modifications, et leurs propriétés se préparent, en quelque sorte, par des nuances

ADDITION.

« On a découvert une nouvelle source d'erreurs auxquelles on est exposé, en employant long-temps le même thermomètre, et à laquelle il est impossible de remédier, si ce n'est en faisant une nouvelle graduation : elle tient à ce qu'on a fait le vide dans le tube, et que la pression de l'atmosphère en diminue l'espace intérieur, ensorte que le thermomètre marque alors une température trop élevée. M. *Gay-Lussac* en comparant un thermomètre de deux ans avec un autre qu'il venait de construire, a trouvé jusqu'à un degré et demi de différence entre les deux indications. Il est possible encore que d'autres causes qu'on peut soupçonner, influent à la longue sur le calibre du tube.

---

insensibles, à ces changemens qu'elles doivent subir. On pourrait donc, par cette raison, douter si les dilatations du mercure de 0 à 80° conservent une marche égale et proportionnelle aux accroissemens de la chaleur, quoique ce dernier terme lui-même soit encore très-éloigné du point où le mercure commence à bouillir. Mais on peut, sans aucun doute, admettre cette proportionnalité relativement à l'air et aux autres substances aériformes que nous ne pouvons jamais faire changer d'état par aucun moyen physique quelconque. Or, en observant comparativement, par un grand nombre d'expériences, la marche du thermomètre à mercure et celle du thermomètre à air, *Gay-Lussac* a trouvé qu'elle est exactement la même, de sorte qu'entre ces limites, les degrés du thermomètre à mercure peuvent être considérés comme indiquant, avec une extrême vraisemblance, des accroissemens égaux de chaleur. Depuis, MM. *Dulong* et *Petit* ont fait voir que cette propriété est l'effet d'une compensation qui s'établit entre les inégalités de dilatation du mercure et du verre qui le renferme; ils ont trouvé que chacune de ces dilatations, mesurée à part, et d'une manière absolue, est croissante à mesure que la température s'élève, quand on la compare à celle de l'air sec. Mais le thermomètre à mercure ne montre que la différence de ces accroissemens, différence qui devient insensible entre 0 et 80 ; c'est pourquoi ses indications semblent parfaitement exactes dans ses limites. Elles ne le sont pourtant pas tout-à-fait, et l'erreur augmente avec la température, mais toujours par le seul effet des différences de dilatations du mercure et du verre ; de sorte, par exemple, que lorsque le thermomètre à mercure marque 300° au-dessus de la température de la glace fondante, le thermomètre à air marque déjà 293, ce qui donne seulement une erreur de 7°.

Du Pyromètre.

§ 9. On a imaginé divers instrumens pour mesurer les degrés de chaleur très-élevés; on les nomme *pyromètres*. La plupart sont fondés sur la dilatation des corps solides, et principalement sur celle des métaux. (*Voyez Gehler* et *Fischer*, art. *thermometer* et *pyrometer*). Tous ces instrumens sont encore très-imparfaits. Le meilleur est celui que *Wedgewood* a inventé (*). (*Gehler*, IV, pag. 368; *Fischer*, V pag. 107). L'idée d'après laquelle il est composé, est la suivante. L'argile pure, et toutes les poteries d'argile, font une exception apparente à la loi de la dilatation des corps par la chaleur (pag. 70, § 3). Les morceaux d'argile, qui n'ont pas été cuits, mais seulement séchés à l'air, se contractent par la chaleur, d'autant plus qu'elle est plus intense; et lorsqu'ils sont refroidis, ils ne reprennent pas leurs dimensions précédentes. Cela vient de ce que l'argile séchée contient encore une certaine quantité d'eau, qui lui est enlevée peu à peu par la chaleur. D'après cette observation, *Wedgewood* fit préparer des tubes d'argile de dimensions exactement déterminées; puis il les exposa à l'action de la chaleur qu'il voulait mesurer. Ainsi, il les plaça, par exemple, dans un creuset avec de l'argent en fusion, et après les avoir laissés quelque temps, il les retira; et en mesurant, au moyen d'un appareil fort simple, la diminution de leur diamètre; il en conclut le degré de la chaleur : il se servit, pour déterminer ce degré, d'une échelle particulière, mais qui est comparable à celle de *Deluc* et à celle de *Farenheit*. De nouvelles expériences ont cependant appris que les données fournies par cet instrument, sont encore un peu incertaines (1).

(*) *Guyton de Morveau* tira parti de la grande difficulté de faire fondre le platine, pour construire un pyromètre qui indique les hautes températures par les dilatations d'une barre de ce métal; mais celui qu'on doit à M. *Brogniard*, directeur de la manufacture de porcelaine de Sèvres, près Paris, commence à être préféré aux deux autres.

(1) J'ai moi-même donné un moyen que je crois très-exact pour mesurer les plus hautes températures. Il est fondé sur cette propriété que j'ai démontrée par expérience, c'est que, lorsqu'une barre métallique exposée dans un air tranquille, est plongée par une de ses extrémités dans une source de température constante,

De quelques points remarquables des Échelles thermométriques et pyrométriques.

§ 10. Outre les points de congélation et d'ébullition, on a encore observé, au moyen des instrumens que nous venons de décrire, plusieurs degrés remarquables de chaleur, parmi lesquels nous indiquerons les suivans :

DEGRÉS DU THERMOMÈTRE.	DELUC.	FARENHEIT.	WEDGE-WOOD.
Mercure congelé................	— 32	— 40	
Un mélange de parties égales de neige et d'ammoniaque...............	— $14\frac{2}{9}$	∓ 0	
Eau gelée......................	+ 0	+ 32	
Caves profondes, chaleur douce du printemps.....................	+ 10	+ 54	
Chaleur d'été modérée.............	+ 14	+ 64	
Inflammation du phosphore.........	+ 20	+ 77	
Chaleur du sang humain............	+ 30	+ 99	
Fusion de la cire	+ 48	+ 140	
Ébullition de l'alcool.............	+ 63	+ 174	
Ébullition du soufre...............	+ 90	+ 234	
Fusion du zinc....................	+ 164	+ 400	
——— du bismuth...............	+ 190	+ 460	
——— du plomb	+ 209	+ 502	
Ébullition du mercure	+ 252	+ 600	
Le fer paraît rouge au jour, à........	+ 464	+ 1077	0
Fusion du cuivre..................	+ 2024	+ 4587	27
——— de l'argent...............	+ 2082	+ 4717	28
——— de l'or	+ 2315	+ 5237	32
Chaleur nécessaire pour incorporer ensemble des barres de fer..........	+ 5953	+ 13427	95
Degré extrême de chaleur d'une forge	+ 7687	+ 17327	125
Fusion de la fonte de fer............	+ 7976	+ 17977	130

les élévations de température de chaque point, décroissent en progression géométrique, quand les distances au foyer sont en progression arithmétique. De cette manière, lorsqu'on connaît par expérience la propagation de la chaleur dans une

Puisque les degrés les plus élevés du thermomètre, peuvent être observés également avec le pyromètre et avec le thermomètre, on conçoit la possibilité de comparer ensemble les échelles des deux instrumens, quoique le thermomètre ne puisse pas servir au-dessus de 252 de *Deluc*. On trouve plusieurs autres degrés indiqués dans la *Pyrométrie* de *Lambert*, § 508. (*Voyez* aussi *Gehler*, IV, pag. 344 et 363; *Klugels*, Encycl. III, pag 393.) (1)

§ 11. Dans le nombre des instrumens qui servent à mesurer la chaleur, il n'en est aucun qui suive parfaitement la même marche qu'elle, et qui puisse être employé sous toutes les températures. Cependant, pour en avoir une mesure générale, au moins en idée, on suppose un

---

barre, il suffit d'observer la température d'un de ses points, et la distance de ce point à la source constante de chaleur, pour connaître la température de cette dernière. J'ai fait l'application de cette méthode à la détermination de la température de l'étain et du plomb fondant; c'est ainsi que j'ai trouvé cette dernière égale à 208°,6. Le décroissement de la chaleur avec la distance, est si rapide, qu'il n'y aurait aucun moyen physique de faire monter d'un degré la température à l'extrémité d'une barre de fer de deux mètres de longueur et de deux centimètres d'équarrisage, en la chauffant par l'autre extrémité; car la chaleur qu'il faudrait y appliquer, serait beaucoup plus forte que celle qu'il faudrait pour la faire fondre. (Voyez la *Bibliothèque Britannique*.)

(1) Je remarquerai, au sujet de ce tableau, que la température des souterrains n'est pas la même par toute la terre, comme l'auteur semble l'indiquer ici. Le thermomètre monte dans les sables des tropiques à une très-grande élévation. On l'a trouvée de 25 centigrades au fond du puits de Joseph en Égypte, à plus de 200 pieds de profondeur. A Paris, dans les caves de l'Observatoire, il se tient à 12.° centigrades, environ 10.° de *Réaumur*; et enfin il y a des lieux dans la Sibérie, où la terre, dit-on, ne dégèle jamais, de sorte que la température des souterrains n'y est pas au-dessus de 0. On voit donc que la température de la terre, ou du moins de ses couches extérieures, que nous appelons souterraines, va en diminuant graduellement de l'équateur aux pôles. Voyez à ce sujet les *Élémens d'Astronomie physique* de *Biot*, chap. de la température de la Terre, 2.e édit.; « Nous devons surtout indiquer *le Traité élémentaire de physique de* M. *Desprets*, pag. 692 et suiv. où on trouve présentés en tableaux les résultats des observations sur les températures des différens climats, sur les lignes isothermes ou de même température, sur les températures des deux hémisphères, sur celles qui ont lieu à différentes profondeurs du globe ou à différentes hauteurs au-dessus de sa surface, sur la température des mers, etc. »

thermomètre à mercure dont la marche serait exactement proportionnelle à la chaleur, et qui pourrait ainsi servir sous toutes les températures. Cette mesure idéale de la chaleur s'accorde assez bien avec le véritable thermomètre à mercure, entre les points de congélation et d'ébullition. Au-dessus du point d'ébullition, le vrai thermomètre a une marche plus rapide; au-dessous du point de congélation, il a une marche plus lente. Mais on peut comparer cette mesure fictive avec le pyromètre pour les degrés de chaleur très-élevés; et, pour les degrés plus bas que la congélation, peut-être la comparaison avec le thermomètre à alcool, serait-elle plus convenable. Il est donc possible, en effet, de mesurer tous les degrés de température, quoique l'estimation des degrés extrêmes de froid et de chaud, doive être soumise à beaucoup d'incertitude. En terminant ce chapitre, nous rapporterons les résultats de quelques expériences que l'on a faites sur la dilatation des différens corps par la chaleur.

§ 12. Les corps de nature différente, soit solides, soit liquides, sont inégalement dilatés par la chaleur; la marche de ces dilatations est même inégale pour un même corps, selon les divers degrés de chaleur auxquels on l'expose. On trouve cependant, qu'à quelques exceptions près, ils se dilatent généralement davantage à mesure qu'ils approchent du point où ils doivent perdre leur état d'agrégation. Mais on ne peut pas dire, jusqu'à présent, que pour aucun corps, à l'exception peut-être du mercure, la marche de la dilatation ait été obsevée assez exactement, pour qu'on puisse en déterminer précisément la quantité à chaque température (1). On se borne ordinairement à fixer la dilatation entre les points de congélation et d'ébullition, et d'après cela on l'évalue proportionnellement pour chaque degré du thermomètre. On a rassemblé dans la table suivante, les *dilatations linéaires* de diverses substances, depuis 0° jusqu'à 80° du thermomètre de *Deluc*, ou, ce qui revient au même; depuis 0° jusqu'à 100° du thermomètre centésimal. Par *dilatation linéaire* on entend celle que l'on mesurerait dans le sens d'une même dimension du corps

---

(1) Depuis que l'auteur écrivait ceci, la détermination dont il parle, a été obtenue par MM. *Petit* et *Dulong*, avec une exactitude qui ne laisse rien à désirer.

échauffé; par exemple, celle qui s'opérerait sur la longueur d'une règle qui à 0° serait supposée égale à l'unité (1).

Acier non trempé	0,0010791
Argent de coupelle	0,0019097
Cuivre	0,0017173
Cuivre jaune ou laiton	0,0018782
Étain de Falmouth	0,0021730
Fer doux forgé	0,0012205
Fer rond passé à la filière	0,0012350
Mercure	0,0615910
Flint-glass anglais	0,0008117
Or de départ	0,0014661
Or au titre de Paris	0,0015515
Platine	0,0008565
Plomb	0,0028484
Verre de Saint-Gobin	0,0008909

§ 13. Deux habiles observateurs, *Dalton*, à Manchester, et *Gay-Lussac*, à Paris, ont dernièrement fait, en même temps, des expériences très-rigoureuses sur la dilatation des fluides élastiques, tant des vapeurs que des gaz permanens, et ils ont tous deux trouvé que *tous les fluides élastiques, sous des pressions égales, se dilatent aussi également par la chaleur*. Cette dilatation, depuis 0 jusqu'à 80°, est, selon *Gay-Lussac*, de 0,375 du volume primitif, représenté par l'unité à 0°; selon *Dalton*, ce serait 0,398. (*Gilbert*, XIII, 314). Le premier nombre paraît s'approcher davantage de la vérité, parce qu'il s'accorde parfaitement avec des expériences très-exactes sur l'air atmosphérique, faites plus anciennement par le célèbre astronome *Mayer*. On est autorisé par là à conclure que la dilatation des gaz est un effet simple, uniquement dû à la cha-

(1) Les dilatations du verre et des métaux solides, rapportées dans le tableau précédent, ne sont pas celles qu'avait données l'auteur. J'y ai substitué les résultats que MM. *Lavoisier* et *Laplace* ont obtenus par une longue suite d'expériences qui ont été publiées pour la première fois dans mon *Traité de Physique*. J'y ai joint la dilatation du platine, déterminée par *Borda*, dans son travail pour la mesure du pendule.

leur, mais que la dilatation des autres corps est le résultat composé de plusieurs forces. Comme la dilatation des gaz est exactement proportionnelle à la chaleur; on a lieu d'espérer qu'on pourra mesurer exactement cette dernière, en faisant usage de cette propriété (1).

La table contenue dans la page précédente, ne donne la dilatation des corps que dans une seule dimension; si l'on voulait avoir la dilatation du volume, il faudrait tripler les nombres exprimés dans la table. Nous donnerons deux exemples à l'appui de cette règle.

1.° La dilatation du mercure depuis 0 jusqu'à 100° du thermomètre centésimal, est exprimé par 0,061591; prenant le centième de ce nombre, on aura la dilatation linéaire pour un degré centésimal, égale à 0,00061591 de la longueur primitive à 0°; en doublant ce nombre, on aura la dilatation superficielle, égale à 0,00123182, et en le triplant, on aura la dilatation cubique égale à 0,00184773, ou $\frac{1}{5412}$, du volume primitif à 0°, comme cela résulte des expériences de MM. *Lavoisier* et *Laplace*.

2.° La dilatation linéaire des tubes de verre ordinaire, depuis 0° jusqu'à 100°, est = 0,00087582 selon MM. *Lavoisier* et *Laplace* : le centième de ce nombre, est 0,0000087572, dilatation linéaire pour un degré centésimal : on la triplant, on aura 0,0000262716 pour la dilatation cubique (*).

---

(1) *Voyez* sur les expériences de *Gay-Lussac*, les *Annales de chimie*, thermidor an 10 : *Essai de Statistique chimique* de *Berthollet* : *Biot*, *Traité de Physique*. *Annales de Gilbert*, XII, 255. Sur les expériences de *Dalton*, *Gilbert*, XII, 310. *Biot*, *Traité de Physique*.

Voyez aussi la note de la page 75.

(*) Cette règle se démontre comme il suit : soit α la dilatation linéaire d'une substance pour 100° (Th centig.) et l'unité de longueur ; pour une variation de t centigrades, la dilatation sera donnée par cette proportion : si 100° produisent α, combien t degrés ? On trouve $0{,}01\,\alpha t$; en sorte qu'une longueur l éprouvera une dilatation $= 0{,}01\,\alpha t l$: ainsi pour t degrés, l est devenue

$$x = l\,(1 + 0{,}01 \times \alpha t) \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (1).$$

Si l'on considère une surface s; comme ses deux dimensions éprouvent la dilatation linéaire, il en résulte une aire s' semblable à la première : ces aires s et s' sont entre elles comme les carrés des dimensions l et x; savoir : $s : s' = l^2 : x^2 :$

ADDITION.

La plupart des données relatives à la dilatation des corps, qui manquaient à l'époque où M. *Fischer* a composé son Livre, ont été depuis déterminées avec un soin et un précision extrêmes par MM. *Petit* et *Dulong*, dans un travail couronné par l'Institut de France, dont je rapporterai ici quelques-uns des résultats.

1.° En comparant la dilatation absolue de l'air sec à la dilatation apparente du mercure dans le verre, ils ont trouvé celle-ci croissante, quoique d'une quantité peu considérable. Le thermomètre du mercure marquait 300°, quand le thermomètre d'air corrigé de la dilatation du verre, en manquait 292,70; au point de l'ébullition du mercure, le premier marqua 360°, le second 350°. L'erreur n'était donc que de 10°; les deux échelles partant de la glace fondante.

Ce peu de différence tenait, comme nous l'avons dit plus haut, à une compensation produite par la dilatation aussi croissante de l'enveloppe du verre; car, les auteurs ayant observé, par un moyen particulier, la dilatation absolue du mercure, comparativement à celle de l'air, trouvèrent qu'elle croissait beaucoup plus vite; en effet, de o à 100, elle fut $\frac{1}{5550}$ du volume par degré centésimal; de o à 200, $\frac{1}{5525}$; de o à 300, $\frac{1}{5300}$. Les températures étaient comptées d'après la dilatation de l'air; de sorte qu'un thermomètre fondé sur la dilatation absolue du mercure, aurait marqué, à ces diverses températures, o; 100°;

---

or, en négligeant le carré de α qui est fort petit, on a $x^2 = l^2(1 + 0{,}02\alpha t)$: ainsi la proportion précédente donnera $s : s' - s = x^2 - l^2 : l^2 = 0{,}02\alpha t\, l^2 : l^2$; d'où l'on tire

$$s' = s\,(1 + 0{,}02 \times \alpha t) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

On trouvera de même qu'en négligeant α^2 et α^3, on a

$$v' = v\,(1 + 0{,}03 \times \alpha t) \ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

En comparant les résultats (2) et (3) avec (1), on reconnaît que la formule de dilatation des lignes, est applicable aux surfaces et aux volumes représentées par l, pourvu qu'on remplace la quantité observée α par 2α et 3α. L'inégalité de la dilatation des métaux, est une propriété qui sert de base à la construction des *thermomètres métalliques* et *des compensateurs d'horlogerie*. Le changement de volume, quoique fort petit, est capable d'effets puissans : c'est ainsi qu'on a vu redresser une muraille par les contractions et extensions de barres de fer, soumises aux successions de froid et de chaud. (*Dict. Tech.*, tom. IV, pag. 336.)

204°,61 ; 314°,15 ; et ainsi à la dernière, il se serait trouvé en erreur de 14°,15, lesquels se seraient réduits à 10° seulement, si l'on eut pris la dilatation apparente dans le verre.

MM. *Petit* et *Dulong* ayant aussi comparé la dilatation de l'air à celle des solides, ont trouvé celle-ci semblablement croissante, même à des températures bien éloignées du terme de fusion. Ainsi, aux termes de 100°; 200°; 300°, mesurés par la dilatation absolue de l'air, un thermomètre construit d'après la dilatation d'une lame de verre supposée uniforme, marquera 100°; 213°,2; 352°,9: avec le fer on aurait, pour les deux extrêmes, 100°; 372°,6: avec le cuivre, 100°; 328°,8: avec le platine; 100°; 311°,6. Ces résultats extrêmement remarquables, suffisent pour corriger les températeures qui seraient calculées sur la supposition jusqu'alors bien vraisemblable, d'une dilatation sensiblement uniforme. (*Voyez* les *Annales de Chimie* pour l'année 1818.)

« En réunissant un très-grand nombre d'observations du thermomètre et en les comparant entre elles, M. *Arago* en a déduit les conséquences suivantes : 1.° Dans aucun lieu de la terre et en aucune saison, un thermomètre élevé de deux ou trois mètres au-dessus du sol, et à l'abri de toute réverbération, n'atteindra le 37.eme degré de *Réaumur*, ou le 46.e degré de l'échelle centigrade : en pleine mer, quelques soient le lieu et la saison, la température de l'air ne dépasse pas 24° *Réaumur*, ou 30 degrés centigrades. 2° Le plus grand froid qu'on ait observé sur notre globe, avec un thermomètre suspendu dans l'air, est de 40° R., ou 50° centigrades. 3.° L'eau de la mer, sous aucune latitude et en aucune saison, ne prend une température supérieure à 24° R., ou 30° centigrades. »

CHAPITRE XVIII.

Changemens des états d'agrégation par la Chaleur.

§ 1. Un effet très-remarquable du calorique, est le changement d'état d'agrégation qu'il fait éprouver à un grand nombre de corps. Nous allons considérer quelques corps sous ce point de vue.

§ 2. L'eau est liquide tant que sa température reste entre 0° et 80° de *Deluc* : refroidie jusqu'à 0°, elle prend l'état solide et devient glace. Durant le refroidissement, sa dilatation diminue jusqu'à ce qu'elle se trouve environ à 3 degrés $\frac{1}{3}$, où elle a sa plus grande densité. Au-delà de ce point, elle se dilate de nouveau, et à 0° elle remplit à-peu-près le même espace qu'elle occupait à 6 ou 7 degrés. Mais dans l'instant où elle devient glace, elle subit une dilatation beaucoup plus grande qui agit même avec une telle force qu'elle peut rompre les vases les plus solides (*). Après la congélation, la dilatation s'accroît encore un peu, jusqu'à ce que la glace soit environ de $\frac{1}{9}$ plus rare que l'eau; ensuite elle se contracte toujours davantage par l'accroissement du froid, de même que tous les corps solides (*Voyez Gehler* et *Fischer*, art. *Eis.*).

§ 3. Quand on échauffe l'eau peu à peu, sa dilatation augmente à mesure qu'elle devient plus chaude. Lorsqu'elle atteint le 80° de *Deluc*, son volume est environ de $\frac{1}{23}$ plus considérable qu'à 0° (1); mais à 80°, des bulles, en s'élevant, produisent un mouvement par-

---

(*) *Buot* a fait rompre par ce moyen un canon de fer de deux doigts d'épaisseur. On connaît le grand préjudice que cette force expansive de la glace, occasionne aux végétaux lorsqu'un froid très-vif vient les saisir au moment où leurs vaisseaux séveux sont gorgés de sucs.

(1) M. *Fischer* avait supposé la dilatation de l'eau égale à $\frac{1}{16}$, depuis 0° jusqu'à 100°; j'ai substitué à cette évaluation celle de $\frac{1}{23}$ qui m'a paru plus exacte, et que j'ai déduite dans mon *Traité de Physique*, des expériences de *Deluc* et de *Dalton*. « Consulter sur ce point la table de l'expansion de l'eau par *Gilpin* et *Kirwan*, pag. 632 du *Traité élémentaire de physique*, par M. *Pelletan* fils. »

ticulier qu'on appelle l'ébullition. En faisant l'expérience dans un appareil distillatoire fermé, on peut s'assurer que les bulles qui s'élèvent, ne sont pas formées d'air, mais d'eau devenue élastique, et qui reprend, dans le récipient plus froid, son état d'eau liquide. Son volume est si considérablement augmenté par le passage à l'état élastique, qu'un pouce cubique d'eau remplit alors l'espace d'un pied cubique, c'est-à-dire, qu'il est dilaté environ 1728 fois. D'après cela, on peut concevoir les effets prodigieux qu'opère la vapeur d'eau dans la *marmite de Papin*; l'*éolipyle*; la *machine à vapeur*, etc. (*Voyez* la *Physique* d'*Haüy*, t. I.)

§ 4. La dilatation du mercure varie aussi par le refroidissement, mais d'une manière beaucoup plus uniforme que celle de l'eau; il ne se fait même dans la dilatation aucun changement sensible avant la congélation qui arrive à —32° de *Deluc*; mais on remarque une très-forte contraction à l'instant même où le mercure prend l'état solide. S'il est chauffé jusqu'à 252° de *Deluc*, il commence à devenir vapeur élastique, c'est-à-dire, qu'il entre en ébullition (1).

§ 5. L'alcool très-pur commence à bouillir à 60° de *Deluc* : lorsqu'il est mêlé avec de l'eau, il supporte une chaleur beaucoup plus grande avant de changer d'état. Aussi l'alcool doit-il être fortement étendu d'eau dans le vrai thermomètre de *Réaumur*; et cependant le point d'ébullition y est toujours trop bas de quelques degrés. Avant l'ébullition, il se dilate avec une force croissante, et sa vapeur possède un haut degré d'élasticité (2). La dilatation de l'alcool décroît par le refroidissement et il a peut-être pour les degrés de très-grand froid, une marche plus conforme à celle de la chaleur que le mercure. Nous ne connaissons aucun degré de froid où il prenne l'état solide. Par cette raison, le thermomètre à esprit de vin est plus propre que le thermomètre de mercure à mesurer les degrés de froid extrêmes.

§ 6. La chaleur opère les mêmes phénomènes dans beaucoup d'autres corps. Tous les métaux que nous pouvons fondre, deviennent liquides à un degré de chaleur déterminé, et élastiques à une chaleur

---

(1) Nous avons vu plus haut que de 0° à 100° centésimaux, la dilatation absolue du mercure, est $\frac{1}{5550}$.

(2) La dilatation absolue de l'alcool le plus rectifié, est $\frac{1}{8}$, depuis 0° jusqu'à 200° centésimaux.

plus grande : il en est de même de tous les corps fusibles. Mais dans beaucoup de corps, le passage de l'état solide à l'état liquide, ne se fait pas immédiatement. Les huiles grasses, par exemple, ne peuvent passer à l'état de vapeur élastique, sans qu'il n'arrive quelque changement dans leur constitution chimique. Il existe aussi des corps solides sur lesquels la plus haute chaleur est sans aucun effet, et des fluides élastiques dont le plus grand froid ne peut pas changer l'état d'agrégation. C'est pour cela qu'on distingue les vapeurs élastiques des gaz permanens. Cependant, cette distinction n'est peut-être pas fort essentielle.

§ 7. Il nous reste encore à parler d'un phénomène très-remarquable produit par les changemens de l'état d'agrégation. Lorsqu'on mêle une livre d'eau à 60° de *Deluc*, et une livre à 0°, il en résulte deux livres d'eau à 30°. Mais si l'on verse une livre d'eau à 60° sur une livre de glace à 0°, on obtient deux livres d'eau à la température de 0°. Toute la chaleur de l'eau versée, est donc employée uniquement à fondre la glace, sans en élever nullement la température. On nomme cette chaleur, qui se dérobe aux sens et au thermomètre, *chaleur latente* ou *calorique combiné*, parce qu'on considère l'eau liquide comme une combinaison intime du calorique avec la matière de la glace. (*).

§ 8. Autant que s'étendent les observations, il paraît qu'un semblable phénomène arrive toutes les fois qu'un corps solide se fond par le seul effet de la chaleur. C'est même sur ceci qu'est fondé le principe, que ce changement s'opère toujours à un degré de température déterminé qui demeure invariable tout le temps que dure ce changement; parce que le calorique survenant est entièrement employé à fondre le reste du corps solide.

(*) Le *calorique latent* ou *combiné* ne peut ni se mouvoir dans le corps, ni en sortir, ni produire d'effets extérieurs; tandis que, dans d'autres circonstances, on le conçoit comme seulement interposé entre les molécules des corps, en conservant la liberté de s'y mouvoir, d'en sortir, d'agir à l'extérieur, ce qui lui a fait donner le nom de *calorique libre*, ou *calorique de température*. Nous devons cependant ajouter que cette supposition de l'existence du calorique dans deux états différens au sein du même corps, n'est pas absolument indispensable pour l'intelligence des phénomènes qui peuvent se comprendre par la considération de ce que nous nommerons *capacité calorique des corps*. Sur la distinction entre l'eau à 0°, et la glace à 0°, voyez plus loin le § 11.

§ 9. Lorsque l'eau passe à l'état élastique, à 80° de *Deluc*, l'expérience nous apprend qu'aucune chaleur ne peut accroître sa température; et même la vapeur qui s'élève au-dessus de l'eau n'indique pas, tant qu'elle est libre, une température plus élevée que l'ébullition, quoique cette vapeur pût être chauffée beaucoup plus fortement si elle était coercée, et qu'il ne restât plus d'eau en ébullition. Il est donc sensible qu'il y a encore ici de la chaleur combinée, et que tout le calorique qui survient est employé à changer l'eau liquide en fluide élastique; par conséquent, tandis que le changement s'opère, il ne peut y avoir aucune élévation de température. La quantité de chaleur qui disparaît ou qui est combinée dans ce cas, est si grande que, d'après les expériences de *Watt*, il se produirait une température de 419° de *Deluc*, si la vapeur repassait à l'état d'eau. (*Deluc, Idées sur la Meteorologie*). Cependant, le point d'ébullition de l'eau ne peut être fixé à aucune température parfaitement constante, puisqu'il varie avec la pression de l'air. Plus l'eau est comprimée, plus elle peut être chauffée avant de bouillir; aussi prend-elle, dans la marmite de *Papin*, une chaleur beaucoup plus élevée que celle de 80°. Au contraire sous la cloche d'une pompe à air, l'eau bout déjà à une température de 20 à 30 degrés. L'instrument qu'on nomme *marteau d'eau*, montre cette propriété d'une manière encore plus frappante (*Gehler*, IV, 656; V, 106. *Fischer*, V, 542) Le point d'ébullition d'un thermomètre doit être déterminé d'après un certain état fixe du baromètre; on le rapporte ordinairement à une hauteur de 28 pouces ou $0^{m},76$.

(*Voyez Gehler* et *Fischer*, aux art. *Sieden* et *Thermometer.*)

§ 10. Selon toutes les observations qu'on a pu faire, il se passe des phénomènes entièrement semblables dans l'ébullition de toutes les autres substances fluides. Ainsi, on est fondé à considérer comme générale la loi suivante : *Dans l'instant du passage, soit de l'état solide à l'état liquide, soit de l'état liquide à l'état aériforme, une certaine quantité de chaleur disparaît aux sens et au thermomètre, c'est-à-dire, qu'elle est combinée.*

§ 11. Dans le retour de l'état aériforme à l'état liquide, ou de celui-ci à l'état solide, cette chaleur qui avait disparu, reparaît ou devient libre. C'est ce qu'on observe sur-tout dans le phénomène suivant qui a lieu quelquefois durant la congélation de l'eau. *Farenheit* observa

le premier que l'eau tranquille peut se refroidir considérablement au-dessous du point de congélation, sans cesser d'être liquide; et des observations plus récentes ont prouvé que quelquefois elle peut rester dans cet état jusqu'à — 12° de *Deluc;* mais si on la remue, une partie se change très-promptement en glace, et un thermomètre plongé dans le fluide monte aussitôt à 0°. C'est là visiblement une conséquence de l'action de la chaleur combinée qui devient libre au moment où l'eau prend l'état solide. Ainsi, les phénomènes les plus ordinaires de la congélation, doivent présenter les mêmes effets, lorsqu'on les observe avec assez d'attention. (*)

§ 12. Dans le passage de l'état élastique à l'état liquide, le dégagement de la chaleur échauffe le vase d'une manière beaucoup plus forte qu'on ne devrait s'y attendre, d'après la quantité et la température des vapeurs qui se précipitent. C'est ainsi qu'on échauffe de l'eau dans un réfrigérant, et qu'on fait bouillir une quantité considé-

---

(*) La possibilité d'abaisser la température de l'eau à quelques degrés au-dessous du terme ordinaire de congélation, paraît tenir à ce que la forme des particules aqueuses, est différente de celles des particules de glace : or, les premières ayant entre elles certaines positions respectives, la solidification ne peut avoir lieu qu'autant que cet équilibre est troublé par un moyen quelconque, ou qu'il est rompu par une grande prépondérance de l'attraction de cohésion. *Blagden* a remarqué, dans la suite de ses expériences, que l'eau qui tient des particules limoneuses en suspension, est susceptible de se geler plus promptement que l'eau limpide, et, en effet, ces corpuscules étrangers doivent détruire promptement l'équilibre en quelques points de la masse. Les eaux qui ont bouilli, se gèlent ordinairement plus vite qu'avant d'avoir subi cette opération : on attribue cet effet à ce que, pendant l'ébullition, les sels tenus en dissolution se sont précipités. Quand l'eau qui tient des sels en dissolution, vient à se solidifier, elle perd ce sel qui se retrouve dans le liquide restant et la glace est douce. Dans les pays froids, on emploie la congélation comme moyen économique de concentration du sel. Lorsqu'une masse d'eau se congèle tranquillement, on voit d'abord de petites aiguilles se former à sa surface ; ces aiguilles se multiplient dans la masse, s'entrelacent et finissent par ne former qu'un seul corps : l'augmentation de volume produit une diminution de pesanteur spécifique ; suivant *Thomson*, la pesanteur spécifique de la glace, est 0,92, celle de l'eau à 15°,55 étant l'unité. C'est en raison de cette légèreté, que les glaçons nagent à la surface de l'eau.

rable d'eau froide, en l'exposant à l'effet d'une petite quantité de vapeur élastique qui s'élève de l'eau bouillante (*).

§ 13. Comme on apperçoit aussi des phénomènes semblables dans les autres fluides, à mesure qu'ils passent d'un état d'agrégation plus rare à un état plus dense, on doit reconnaître ce qui suit comme un principe général.

Dans le passage de l'état élastique à l'état liquide, et de celui-ci à l'état solide, il y a toujours une certaine quantité de chaleur qui devient libre.

§ 14. Si de telles expériences ne décident pas absolument l'existence d'un calorique matériel, on ne peut cependant pas nier qu'elles ne la rendent très-vraisemblable. Ceci confirme aussi l'opinion des chimistes qui considèrent les fluides liquides et élastiques comme des combinaisons chimiques d'une matière solide avec de certaines quantités de calorique.

§ 15. Nous avons déjà remarqué (pag. 8, § 3) que l'état d'agrégation d'un corps, ne dépend pas uniquement de la chaleur libre qui agit sur lui, mais encore de sa combinaison chimique avec d'autres substances. Les phénomènes du dégagement ou de l'absorption du calorique, expliqués dans les §§ 10 et 13, dépendent aussi de la nature des combinaisons et de l'état où elles se trouvent. Entre les expériences qui ont rapport à ceci, nous citerons les suivantes :

Quand on mouille la boule d'un thermomètre avec de l'éther, la liqueur du thermomètre descend durant l'évaporation. Lorsqu'on verse de l'eau sur de la chaux vive, une partie de l'eau devient solide, et le mélange s'échauffe considérablement. Lorsqu'on fait fondre dans de l'eau chaude autant de sulfate de soude qu'elle en peut dissoudre, et qu'on expose cette dissolution à un très-grand froid, elle demeure

---

(*) La médecine a tiré un parti fort avantageux de l'emploi de la vapeur d'eau, non plus au dégré élevé de son ébullition, mais alors que devenue *vapeur sensible*, elle a abandonné une grande partie de sa température et qu'elle tend à se précipiter sur les corps environnans. Dans cet état, elle conserve assez de chaleur pour ramollir l'épiderme et déterminer une transpiration. Dans les arts, on a fréquemment recours à la vapeur d'eau pour ramollir certains corps durs, et pouvoir les attaquer plus facilement pas d'autres agens, ou en extraire par simple expression des principes trop solidement emprisonnés.

claire et fluide, tant qu'elle est en repos; mais si l'on jette dans cette dissolution, déjà très-refroidie, un cristal de sulfate de soude, ou seulement si on la remue, une certaine partie du sel se cristallise à l'instant, et un thermomètre plongé dans le fluide, s'élève de plusieurs degrés.

On verra, dans le chapitre suivant (§ 13), pourquoi les changemens de température produits par les combinaisons chimiques, ne suivent pas toujours les principes rapportés aux articles 10 et 13.

CHAPITRE XIX.

De la propagation de la chaleur.

§ 1. Lorsque des corps qui ont une chaleur inégale au thermomètre, se touchent mutuellement, il se fait une transmission de chaleur du plus chaud au plus froid, jusqu'à ce que le thermomètre indique le même degré pour tous deux.

§ 2. Cette communication de la chaleur, ne peut être détournée par aucun moyen. La chaleur est donc une chose qu'on ne peut empêcher de pénétrer dans les corps. Cependant elle se propage plus facilement et plus vite dans quelques corps que dans d'autres. Les meilleurs conducteurs de la chaleur, sont les métaux et l'eau (1); les plus mauvais sont les substances terreuses, les cendres, le bois, le charbon, le papier, la laine, la toile, les fourrures, etc. On peut éprouver le pouvoir de conductibilité d'un corps, en le chauffant très-fortement à l'une de ses extrémités, et observant le temps que la chaleur emploie à se propager à l'autre. (Pag. 77 not.)

§ 3. Il y a dans l'air atmosphérique deux sortes de propagation de la chaleur : la première ne diffère pas de ce qui est décrit ci-dessus; et l'air, à cet égard, doit être rangé dans la classe des mauvais conducteurs de la chaleur : l'autre consiste en ce qu'autour d'un corps échauffé, il se répand, avec une vitesse instantanée et en ligne droite,

---

(1) On trouve dans les *Annales* de *Gilbert*, Tom. I, II, V, et sur-tout Tom. XIV, un grand nombre de mémoires relatifs au doute que le comte de *Rumford* a élevé dernièrement sur la conductibilité de l'eau et de tous les fluides liquides.

une chaleur qui ne se combine pas avec l'air, mais qui paraît seulement le traverser; c'est ce qu'on nomme *chaleur rayonnante* (*). *Scheele* l'observa le premier, par hasard, devant la porte ouverte d'un four. Plusieurs corps la réfléchissent à la manière des rayons de lumière, particulièrement les métaux; de sorte qu'on peut la réunir au foyer d'un miroir de métal. D'autres corps l'absorbent entièrement, ou en partie. Lorsqu'on veut faire des expériences précises sur la chaleur, il faut distinguer avec grand soin ces deux genres de propagation.

On trouve des détails plus étendus sur la chaleur rayonnante, dans la *Physique d'Haüy;* dans l'*Essai de Physique* de *Pictet,* 1.re partie; dans le *Voyage aux Alpes* de *Saussure;* enfin, dans *Gehler,* IV, 553; *Fischer,* V, 343 (1).

§ 4. On doit une des plus importantes découvertes sur la théorie de la chaleur, à un physicien suédois nommé *Wilke,* qui, dans l'année 1772, prouva que *les corps de nature différente, qui montrent une température égale au thermomètre, contiennent cependant des quantités de chaleur très-inegales.* Les expériences d'après lesquelles il prouva ceci, furent faites de la manière suivante : en mettant une livre d'eau à 0°, avec une livre d'eau à une autre température, par exemple à

(*) Le calorique est susceptible de s'échapper en rayonnant de la surface des corps, de traverser l'espace et d'être refléchi par les surfaces, le tout suivant les mêmes loix que la lumière. Au moyen du *thermomètre différentiel* qui a pour objet d'apprécier les plus légères différences de température, on a reconnu qu'en plaçant au foyer d'un miroir concave, un ballon de verre rempli d'eau bouillante, et le thermomètre différentiel, au foyer d'un autre miroir concave posé vis-à-vis du premier, il se développe dans ce foyer une quantité de chaleur assez grande. Voici à ce sujet une expérience curieuse de M. *Wollaston:* supposons qu'un thermomètre exposé le soir à l'air libre sous un ciel serein, soit parvenu à une température fixe : si l'on interpose un miroir métallique très-poli, dont la concavité soit tournée vers le ciel, et dont le thermomètre occupe le foyer, à l'instant, l'équilibre cessera d'avoir lieu; le miroir qui intercepte le rayonnement de la terre, réfléchit sur le thermomètre, les rayons plus froids des regions supérieures de l'air et fait baisser le mercure du thermomètre. En faisant cette expérience, on remarque que la présence d'un nuage au zénith, fait quelquefois monter le thermomètre de plusieurs degrés. Ces faits trouvent leur application dans l'explication des météores.

(1) *Voyez* aussi mon *Traité de Physique,* tom. IV.

36°, on obtient un mélange à 18°, par conséquent à la température moyenne; mais si l'on plonge dans une livre d'eau à 0°, une livre d'un métal à 36°, on observe, lorsque l'équilibre de chaleur est établi, une température beaucoup plus basse. Si, par exemple, le corps plongé est une masse de fer, l'eau et le fer, après que l'équilibre est établi, se trouvent seulement à 4°. Or, si l'on suppose qu'on ait pris de grandes précautions pour qu'il ne s'échappe par le vase que le moins de chaleur possible, il est clair que l'eau reçoit justement autant de chaleur que le fer en a perdu; ainsi, cette quantité de chaleur dont la perte a fait baisser de 23° la température du fer, n'a produit dans l'eau qu'une élévation de 4°; d'où il suit qu'il faut huit fois autant de chaleur pour augmenter d'un degré la température de l'eau, ou pour la diminuer, que pour changer d'un dégré la température d'une masse de fer d'une pesanteur égale.

§ 5. La quantité de chaleur que demande une unité de poids déterminée d'un corps, pour changer sa température d'un degré, s'appelle la *chaleur spécifique* du corps, ou sa *capacité pour le calorique*. On conçoit que cette propriété des corps peut être mesurée par des expériences semblables à celle qui vient d'être décrite. Si l'on prend pour unité la quantité de chaleur qui peut changer d'un degré la température d'une livre d'eau, on se convaincra facilement que *la chaleur spécifique d'un autre corps, peut être représentée par une fraction dont le numérateur est le nombre de degrés dont la température de l'eau a changé, et le dénominateur le nombre de degrés dont a varié la température du corps plongé, les masses étant suposées les mêmes.* Ainsi, dans l'expérience que nous venons de rapporter, la chaleur spécifique du corps, serait $= \frac{4}{32} = \frac{1}{8} = 0{,}125$ (1).

(1) Que l'on suppose égale à 1 la chaleur spécifique de l'eau, c'est-à-dire, la quantité de chaleur qui est nécessaire pour changer de 1° la température d'une livre d'eau, la chaleur nécessaire pour changer cette température de n degrés, sera exprimée par n. Soit x la chaleur spécifique du corps plongé, c'est-à-dire, la quantité de chaleur nécessaire pour changer de 1° sa température; pour un changement de température égal à n' degrés, il faudra une chaleur représentée par $n'x$: mais dans notre expérience, la chaleur que l'eau reçoit, est justement aussi grande que celle que perd le corps plongé; nous aurons donc $n = n'x$. D'où l'on tire $x = \frac{n}{n'}$. Si le poids de l'eau n'est pas égal à celui qui est pris pour unité, mais qu'il soit égal

Le Calorimètre.

§ 6. *Wilke*, *Black*, *Crawford* et plusieurs autres physiciens ont déterminé, par ce moyen, la chaleur spécifique de beaucoup de corps. Cependant, il existe un grand nombre de circonstances dans lesquelles cette méthode ne peut être employée; et d'ailleurs ses résultats sont assez incertains, puisque la conductibilité des vases et de l'air rend presque impossibles les observations précises. *Lavoisier* et *Laplace* ont donc rendu un grand service à cette partie de la science, en inventant le *Calorimètre*. On trouve une description complète de cet instrument dans le *Système de Chimie Antiphlogistique* de *Lavoisier*. On en voit une description abrégée dans *Gehler* et *Fischer* aux articles *Warmemesser*. Nous nous bornerons à observer ici que l'idée de cet instrument, est fondée sur le principe qu'une certaine quantité déterminée de chaleur est nécessaire pour fondre un poids déterminé de glace. On peut mesurer, au moyen du calorimètre, la chaleur que contient un corps au-dessus de 0°, ou celle qui se développe par un procédé chimique quelconque, puisqu'on trouve avec exactitude combien cette chaleur peut fondre de glace. Pour cela, on place le corps qu'on veut examiner dans un espace rempli de tous côtés avec de la glace pilée, que l'on amène à la température de 0°, en la laissant quelque temps exposée à l'air libre, supposé au-dessus de cette température : le corps reste dans cette enveloppe de glace jusqu'à ce que sa température propre soit 0°; ensuite on recueille avec soin toute l'eau devenue liquide, et le poids de cette eau donne la mesure de la chaleur qui a été employée à sa liquéfaction.

§ 7. Lorsqu'on veut déterminer, avec le calorimètre, la chaleur spécifique d'un corps, on le fait au moyen du procédé très-simple qui suit. On met dans le calorimètre un poids déterminé de la substance de ce corps, à une température connue, par exemple à 30°, et

---

à A, et que celui du corps plongé soit B, on trouve, par un raisonnement semblable, $x = \frac{An}{Bn'}$; car An est la quantité de chaleur acquise par l'eau, et $Bn'x$ est celle qui est perdue par le corps; quantités qui doivent être égales entre elles.

(*Voyez* la *Statique chimique* de *Berthollet*, et le *Traité de physique* de *Biot*, où l'on trouvera aussi la discription détaillée du calorimètre de glace.)

on laisse fondre autant de glace par sa chaleur qu'il lui est possible d'en liquéfier. Supposé que cette fusion produise $\frac{1}{40}$ de livre d'eau : il y a eu, pour cela, autant de chaleur employée qu'il en aurait fallu pour élever $\frac{1}{40}$ de livre d'eau liquide de 0° à 60° (pag. 87, § 7), ou pour changer d'un degré la température de 60 fois autant d'eau, c'est-à-dire, 1 livre $\frac{1}{2}$, puisque $\frac{60}{40} =$ 1 livre $\frac{1}{2}$. Maintenant, comme nous avons représenté par 1 la chaleur qui peut changer d'un degré la température d'une unité de poids d'eau (pag. 93, § 5), toute la quantité de chaleur que le corps avait au-dessus de 0°, avant l'expérience, doit être exprimée par $\frac{60}{40}$, ou 1 $\frac{1}{2}$. Mais cette chaleur avait élevé la température du corps mis en expérience à 30°; par conséquent, il en faut la 30e partie pour lui faire changer sa température d'un degré, c'est-à-dire, que sa chaleur spécifique est $\frac{1,5}{30} = \frac{1}{20}$. Enfin, pour exprimer ceci en peu de mots, *il faut prendre* 60 *fois le poids de la glace fondue et diviser le produit par la température qu'avait le corps avant l'expérience, pour trouver la chaleur spécifique qui lui est propre.* Si le poids du corps n'est pas $= 1$, il faut encore diviser le résultat par le poids du corps (1).

§ 8. L'usage du calorimètre a, sur la méthode des mélanges, l'avantage essentiel de donner la chaleur spécifique de tous les corps solides et liquides, sans exception. Les inventeurs ont même cherché à l'appliquer aussi aux substances aériformes pour lesquelles toutes les méthodes n'offrent cependant encore que des résultats fort incertains. Mais l'utilité du calorimètre s'étend beaucoup plus loin à d'autres égards, particulièrement puisqu'il peut servir à mesurer la quantité de chaleur qui se dégage ou qui s'absorbe dans les combinaisons chimiques. Il faut chercher dans des ouvrages plus étendus la manière de faire ces expériences.

§ 9. Nous allons extraire de *Gehler*, IV, 603, ou de *Fischer*, V,

---

(1) Le poids du corps étant p, sa température avant l'expérience t°, le poids de la glace fondue a, la chaleur spécifique du corps x, on aura $x = \frac{60a}{tp}$. Pour l'exemple du texte, on a $p = 1$, $t = 30^{\circ}$, $a = \frac{1}{40}$; d'où $x = \frac{1}{20}$. En se servant de la formule $x = \frac{An}{Bn'}$, on a $A = 1,5$; $B = 1$, $n = 1^{\circ}$, $n' = 30^{\circ}$.

461, quelques chaleurs spécifiques déterminées par *Laplace* et *Lavoisier* (1), au moyen de cet instrument.

1	Eau ordinaire	1
2	Fer-blanc	0,1100
3	Crown-glass, ou verre sans mélange de plomb	0,1929
4	Mercure	0,0290
5	Chaux vive	0,2169
6	Eau et chaux vive dans le rapport de 9 : 16	0,4391
7	Acide sulfurique du poids spécifique de 187058	0,3346
8	Acide sulfurique et eau dans le rapport de 4:3	0,6032
9	Dans le rapport de 4:5	0,6631

On trouve une plus grand liste de chaleurs spécifiques reconnues par différens observateurs, dans les ouvrages indiqués. *Gehler*, IV, 575; et *Fischer*, V, 434.)

Nous ne rapporterons de celles-ci que les suivantes :

10	Glace	0,900
11	Mercure	0,033
12	Fer	0,125
13	Zinc	0,067
14	Plomb	0,050

§ 10. Nous allons expliquer ce que signifie une semblable table.

1) Si l'on prend pour unité la quantité de chaleur nécessaire pour changer de 1° la température d'un poids déterminé d'eau, le nombre 0,125, par exemple, qui correspond au fer, indique qu'un poids égal de fer n'aurait besoin que de $\frac{125}{1000}$, c'est-à-dire, $\frac{1}{8}$ de cette chaleur, pour changer sa température d'un degré.

2) Tant qu'il est possible d'admettre que les degrés du thermomètre croissent et décroissent en proportions égales avec la chaleur (pag. 74, § 8), on peut attribuer encore un autre sens aux nombres de

(1) *Voyez* le beau Mémoire de MM. *Lavoisier* et *Laplace*, sur la Chaleur, *Académie des Sciences*, pag. 1780. Pour la chaleur spécifique des différens gaz, *voyez* les Recherches de *Berard* et *Delaroche*, rapportées dans le *Traité de Physique* de *Biot*, tome IV.

cette table. Ils montrent le rapport de la chaleur réelle que deux corps de poids égaux, acquièrent depuis 0° jusqu'à une même température. Ainsi, les nombres 0,033 et 0,125 placés après les numéros 11 et 12, indiquent que les quantités de chaleur au-dessus de 0°, que le mercure et le fer contiennent à d'égales températures, sont comme 0,033 à 0,125, ou comme 33 : 125. Si ce rapport était invariable sous toutes les températures, ces nombres exprimeraient aussi le rapport des quantités absolues de chaleur; mais on ne peut adopter ce résultat avec certitude qu'entre les températures de 0° à 80° de *Deluc*, et on ne doit l'appliquer qu'à la quantité de chaleur qui excède la chaleur contenue dans le corps à la température de la congélation (1).

§ 11. On concevra facilement, d'après ceci, comment on calcule la quantité de chaleur qui existe effectivement dans une combinaison. Si l'on mêle quatre livres d'acide sulfurique et cinq livres d'eau à une égale température, ce mélange doit contenir, outre sa chaleur propre à 0°, quatre fois 0,3346, plus 5 fois 1, c'est-à-dire, 6,3384 de chaleur : chaque livre, qui est la 9.e partie de la combinaison, contiendra donc 0,7043. On devrait croire que ce nombre représente la chaleur spécifique de la combinaison; mais, selon l'évaluation donnée dans l'article 9, elle n'est cependant que de 0,6631. Si l'on examine d'autres combinaisons de la même manière, par exemple, une combinaison d'eau et de chaux, on trouve un écart analogue.

§ 12. Il se passe donc, dans de semblables combinaisons de corps hétérogènes, des changemens internes de chaleur spécifique, de sorte qu'on ne peut trouver, *à priori*, la chaleur spécifique de la combinaison par aucun calcul. Ce phénomène remarquable est si général, qu'il n'existe peut-être pas deux substances dont la capacité pour le calorique ne souffre quelque altération par leur combinaison chimique.

---

(1) Dans une température de t° au-dessus de la congélation, chaque corps contient, outre sa chaleur primitive à 0°, t fois autant de chaleur qu'il est nécessaire pour changer sa température d'un degré. Ainsi, lorsqu'on multiplie tous les nombres de la table par t, on a l'excédant de chaleur que contient le corps à une température de t° au-dessus de la congélation. Mais comme les rapports des nombres ne sont pas changés, quand on les multiplie par un même facteur, les nombres de la table peuvent être employés pour cette comparaison, dans chaque température, sans multiplication préalable.

§ 13. C'est par cette remarque que l'on explique le phénomène important de la production du chaud ou du froid qui s'opère souvent dans la combinaison chimique de deux substances : on l'observe déjà dans les dissolutions d'un sel. Le muriate de chaux, bien desséché, produit de la chaleur, quand il se dissout dans l'eau ; cristallisé, il produit du froid. De la magnésie calcinée, jetée dans l'acide sulfurique concentré, s'échauffe fortement : il en est de même de la chaux, et de même encore de l'acide sulfurique qu'on mêle avec de l'eau, etc.

Ainsi, quand la chaleur qui doit être contenue dans une combinaison, d'après le calcul de l'article 11, est plus grande que la chaleur spécifique réelle, cela signifie que cette combinaison contient moins de chaleur que ses parties constituantes n'en auraient à la même température ; c'est-à-dire, qu'il doit y avoir de la chaleur rendue libre, lors de la combinaison.

Si, au contraire, la chaleur réelle est plus grande que la chaleur spécifique déduite du calcul, il doit se produire du froid dans la combinaison.

Ceci explique aussi pourquoi, dans les changemens d'état d'agrégation par les combinaisons chimiques, les phénomènes ne sont pas toujours conformes aux principes rapportés pag. 88 et 93, §§ 10 et 13 (1).

---

(1) Par des expériences très-exactes, faites sur diverses substances solides et liquides, MM. *Petit* et *Dulong* ont découvert que leurs *capacités de chaleur* sont variables aussi bien que leurs dilatations. Voici le tableau qu'ils ont donné de leurs résultats :

Noms des substances	Capacités moyennes prises entre 0° et 100° centésim.	Capacités moyennes prises entre 0° et 300° centésim.
Antimoine.	0,0507	0,0549
Argent.	0,0557	0,0611
Cuivre.	0,0949	0,1013
Fer.	0,1098	0,1255
Mercure.	0,0330	0,0350
Platine.	0,0335	0,0535
Verre.	0,1770	0,0190
Zinc.	0,0927	0,1015

Dans ces résultats, la capacité de l'eau pour le calorique, est prise pour unité.

CHAPITRE XX.

De la production de la Chaleur et du Froid.

§ 1. Nous avons vu, à la fin du dernier chapitre, comment on peut produire de la chaleur et du froid par les combinaisons chimiques. Nous devons remarquer encore que tous les moyens connus de les produire, se rapportent à ces combinaisons.

§ 2. Le meilleur des moyens de développer de la chaleur, est, comme on le sait, la combustion du charbon, du bois, de la tourbe. etc. Nous avancerions trop dans la partie de la science qui appartient à la chimie, si nous voulions analyser ici la théorie de la combustion. Cependant, comme le moyen le plus actif de produire la chaleur, ne peut pas rester inconnu au physicien mécaniste, nous allons donner sur ce sujet la courte explication suivante. On sait, depuis environ quarante ans, que la combustion consiste proprement en une combinaison chimique des corps qu'on nomme *combustibles*, avec une certaine partie constituante de l'air atmosphérique, dont nous avons déjà parlé quelquefois sous le nom d'*oxigène*. Cette combinaison est accompagnée d'un dégagement de chaleur, beaucoup plus fort que celui qui se fait dans toute autre combinaison chimique. Dans le moment où les deux substances se combinent, le dégagement de la chaleur va jusqu'à produire la couleur rouge; de là naît la flamme. Les produits de cette combinaison, sont presque tous volatils; c'est ce qui cause la disparition apparente du corps brûlé. Si le corps qui brûle, est composé en tout ou en partie de substances qui deviennent aériformes à un température élevée, ces parties s'élèvent sous forme de vapeur, lorsque la température atteint le degré nécessaire pour l'inflammation; et au moment où elles deviennent rouges par la combinaison avec l'oxigène, elles forment la flamme.

§ 3. On favorise la combustion et la chaleur qu'elle produit, lorsqu'on l'excite par un violent courant d'air atmosphérique; tels sont

les effets du soufflet et du chalumeau. Quand on emploie un courant d'air oxigène, au lieu d'air atmosphérique, on a la plus forte chaleur que nous connaissions.

Il serait peut-être difficile d'expliquer la chaleur que produit la combustion, uniquement par le changement de chaleur spécifique; mais l'incertitude qui existe dans l'évaluation des chaleurs spécifiques des gaz, rend impossible un jugement décisif sur cet objet.

§ 4. Un deuxième moyen très-puissant de produire la chaleur, est l'effet des rayons solaires; ils ont d'autant plus d'action, 1.° qu'ils tombent plus à-plomb sur la surface d'un corps. De là vient la grande différence de leur force sous les différentes zones de la terre, et dans les divers temps de l'année. 2.° Ils sont d'autant plus actifs, qu'ils sont plus concentrés; de là vient la chaleur obtenue par les lentilles et les miroirs ardens. Lorsque ces appareils sont d'une grandeur suffisante, leurs effets ne le cèdent en rien à la chaleur augmentée par l'oxigène, et même ils peuvent la surpasser. 3.° L'effet des rayons solaires dépend encore de certaines propriétés matérielles particulières à chaque corps. Ainsi, il paraît que les corps transparens ne sont point échauffés immédiatement par eux; et parmi les corps opaques, ceux de couleurs claires s'échauffent beaucoup moins que ceux de couleurs foncées, sur-tout moins que les noirs (1).

§ 5. Il y a encore plusieurs circonstances mal expliquées dans ce genre de production de la chaleur. Autrefois on considérait le soleil comme un feu véritable, et, par conséquent, la chaleur des rayons solaires, ne différait point essentiellement de la chaleur rayonnante de notre feu terrestre (pag. 91, § 3). Depuis, on trouva cette opinion peu convenable, et l'on supposa le soleil un corps obscur en soi, et seulement enveloppé d'une atmosphère lumineuse : on refusa une chaleur propre aux rayons du soleil, et à la place on leur attribua une force d'impulsion capable d'exciter le calorique contenu dans les corps. Mais, d'après nos autres connaissances sur le calorique, nous

---

(1) J'ai vu dans la vallée de Chamouni, au milieu des Alpes, un pan de montagne d'où l'on tire une terre schisteuse et noirâtre que les habitans du pays répandent sur les terres, au printemps, lorsque des neiges tardives ou imprévues viennent les couvrir tout-à-coup. S'il n'y a qu'un pied ou deux de neige, un jour suffit pour la fondre, lorsqu'on l'a recouverte avec cette terre noire.

savons qu'une élévation de température ne peut être produite que par une augmentation du calorique lui-même, ou par une diminution de capacité des corps pour le calorique; or, ni l'une ni l'autre de ces causes ne se concilie avec l'opinion ci-dessus. Le célèbre *Herschel* a fait tout nouvellement des expériences qui tendent à prouver que le soleil ne nous envoie pas seulement des rayons de lumière, mais des rayons d'une chaleur particulière dont les lois ne s'accordent pas avec celles de notre chaleur rayonnante. (*Voyez* les *Recherches d'Herschel sur la Lumière et la Chaleur*, et les *Annales de Gilbert*, VII, 157; X, 68; XII, 521, 599, etc.) Les expériences d'*Herschel* sont fort remarquables, et méritent d'être suivies avec soin.

§ 6. Il y a encore un troisième moyen de développer du froid et de la chaleur. Ce moyen est fondé sur ce que, *par la compression des corps, il se produit de la chaleur, et du froid par la dilatation de leur volume.* Plusieurs phénomènes qu'on connaissait isolément depuis long-temps, se réunissent sous ce point de vue. La chaleur qu'on obtient en frappant et en frottant, est sans doute la conséquence d'une compression qui se rapporte à cette propriété. On voit que la chaleur produite est d'autant plus forte, que la pression est plus considérable et plus vive. On avait aussi observé, depuis long-temps, que la condensation de l'air produit de la chaleur, et que sa raréfaction produit du froid. Une expérience nouvellement faite à Lyon, a appris que cet effet est beaucoup plus fort qu'on ne le croyait autrefois, puisqu'une petite masse d'air, condensée environ douze fois par un coup violent, développe tant de chaleur au premier instant, qu'on peut y allumer non-seulement du phosphore, mais encore de l'amadou et d'autres substances inflammables.

§ 7. *Berthollet* établit dans son *Essai de Statique chimique*, partie 1.re, § 107, un principe par lequel beaucoup de phénomènes sont facilement expliqués. *La chaleur opère une élévation de température, tant que des obstacles s'opposent à la dilatation des corps.* Les phénomènes qui arrivent dans les changemens d'état d'agrégation (chap. 18), la dilatation uniforme de tous les fluides élastiques (pag. 81, § 13), ainsi que le phénomène indiqué ci-dessus (§ 6), paraissent des conséquences nécessaires de ce principe.

Froid artificiel.

§ 8. On connaît maintenant plusieurs moyens de produire un froid plus ou moins grand; mais ils se rapportent tous à la loi relative aux corps qui passent d'un état d'agrégation plus dense à un autre plus rare (page 88, § 10).

Parmi ces moyens, on distingue d'abord l'évaporation qui produit toujours du froid, et d'autant plus qu'elle se fait plus promptement. L'éther et l'esprit-de-vin procurent, par cette raison, les effets les plus énergiques (pag. 90, § 15). Cependant, l'évaporation de l'eau occasionne aussi, dans beaucoup d'expériences journalières, un refroidissement considérable; et même, dans les Indes orientales, on emploie ce moyen pour se procurer de la glace artificielle en grande quantité. (Voyez *Voigt's Magasin f. d. Neuste a. d. phys.* IX, pag. 86.)

Un second moyen, c'est la dissolution de la plupart des sels dans l'eau, et vraisemblablement de tous, pourvu qu'ils aient toute leur eau de cristallisation : cette dissolution rend le sel fluide, de solide qu'il était d'abord. La plupart des sels n'occasionnent cependant qu'un refroidissement assez faible. Au contraire, un sel qui est privé de son eau de cristallisation, produit de la chaleur par sa dissolution dans l'eau, parce que le sel attire d'abord l'eau et la met à l'état solide avant de se dissoudre lui-même.

La dissolution des sels cristallisés, lorsqu'elle s'opère dans l'acide sulfurique et dans l'acide nitrique, produit encore plus d'effet, particulièrement celle des cristaux de sulfate de soude, qui contiennent beaucoup d'eau à l'état solide ; mais les effet les plus énergiques sont déterminés par les mélanges de sels cristallisés et de neige ou de glace pilée, dans lesquels les deux parties constituantes passent en même temps à l'état liquide. On n'a, jusqu'à présent, trouvé aucun sel qui eût plus d'action, à cet égard, que le muriate de chaux, lorsqu'il contient toute son eau de cristallisation. Comme on peut facilement en avoir en grande quantité, il n'est pas difficile maintenant de faire geler des parties considérable de mercure. (1)

---

(1) Le sulfate de soude, mêlé avec un peu d'acide nitrique ou sulfurique concentré, produit du froid; mais mêlé avec une grande quantité de ces acides, il produit de la chaleur. « Voyez la description du procédé en grand de M *Leslie*,

(*Voyez*, sur tout ceci, *Gehler* et *Fischer*, aux articles *Kalte Kunstliche*. *Gren's, Journal de Physique*, I, 419; II, 358. *Gren's neues, Journal de Physique*, III, 458. *Voyez* aussi *H. Crell's* Chem., *Annales*, I, 529, pour les expériences que *Lowitz* a faites avec le muriate de chaux) (1).

ADDITION.

« Le calorique en s'interposant plus ou moins entre les molécules des corps, paraît la cause principale de leur *porosité* dont la *compressibilité* n'est qu'une conséquence, et qui d'ailleurs est attestée par un grand nombre de phénomènes chimiques, inexplicables dans tout autre système. Sur ce point on doit consulter le *Supplément à la Mécan. céleste de Laplace*. L'élasticité paraît avoir aussi pour cause générale, ainsi que *Newton* l'a soutenu, la présence du calorique qui, logé dans les interstices des corps, peut être momentanément comprimé, quelquefois expulsé, ce qui explique tous les phénomènes d'élasticité complète et incomplète. — Nous indiquerons maintenant quelques phénomènes dont il n'a pas été question dans les chapitres XVII, XVIII..... XIX. La chimie est parvenue récemment à liquéfier quelques gaz par un froid et une pression très-forte, ce qui prouve qu'il en serait de même des autres par une puissance encore supérieure. Voyez (*Ann. of Philosophy*) les expériences et les découvertes de MM. *Faraday* et *H. Davy* sur la liquéfaction des gaz, ainsi que les applications de la plus haute importance qu'ils se proposent d'en faire pour remplacer les machines à vapeur. — Il est remarquable que les mêmes moyens mécaniques, par exemple, le frottement violent de deux corps l'un contre l'autre, ou la forte compression d'un corps par un choc violent et instantané, développent dans un grand nombre de circonstances, de la chaleur et de l'électricité. — Deux ou plusieurs corps se mettent en équilibre de température par contact ou par rayonnement. — On éprouve une sensation de chaleur ou de froid, plus vive au contact de certains corps, qu'à celui d'autres substances, dans le cas même où ces corps sont à une température égale ; cet effet dépend de la faculté conductrice plus ou moins grande des corps, laquelle est, en général, à-peu-près dans la raison des densités. Ainsi nous éprouvons une sensation de froid beaucoup plus grande, en saisissant un morceau de fer, qu'un morceau de bois, parce que le fer est beaucoup

---

dans le Dictionnaire de Chimie du docteur *Ure*, ou dans le Dictionnaire Technologique, et les pag. 688 et 693 de la Physique de *Pelletan*. »

(1) *Voyez* encore pour les lois du refroidissement et du réchauffement des corps, le beau mémoire de MM. *Petit* et *Dulong*, déjà cité page 78, addition : on le trouve dans le 18.me *cahier du Journal de l'École Polytechnique* et dans *les Annales de Chimie de* 1818.

meilleur conducteur du calorique que le bois. — Lorsque les rayons de calorique, au lieu de tomber sur une surface polie, tombent sur une surface terne, ils sont absorbés en très grande partie. Quand on enduit un miroir concave de noir de fumée, qu'on lui présente un corps en ignition, et qu'on place un thermomètre à son foyer, on reconnaît qu'il y a très-peu de rayons refléchis, ou qu'il y en a beaucoup d'absorbés, et qu'alors le miroir s'échauffe beaucoup plus fortement que quand sa surface est brillante. On remarque aussi que la faculté d'émettre le calorique, est plus grande dans un corps terne que dans un corps de même nature dont la surface est brillante, ensorte que, dans le premier cas, le corps se refroidit beaucoup plus vite que dans le second. Il résulte d'expériences très-exactes que, dans les corps de même nature, la faculté émissive et la faculté absorbante suivent, dans tous les cas, la même loi. — L'expérience journalière nous apprend que les rayons calorifiques solaires sont transmis à travers le verre aussi bien que les rayons lumineux. Des expériences très-précises faites par M. *Delaroche*, ont démontré qu'il en était de même du calorique émané des corps portés à une chaleur obscure, pourvu qu'elle fût au-dessus de l'eau bouillante. Les effets se produisent avec d'autant plus de facilité que la température du corps approche davantage de celle où il commence à se produire de la lumière; ensorte que les propriétés du calorique semblent se modifier graduellement, jusqu'à devenir identiques avec celles du fluide lumineux. — Lorsque le calorique rayonnant produit par un corps d'une température assez élevée, arrive sur une substance diaphane, dans une direction oblique, il la pénètre et s'y réfracte plus ou moins suivant sa nature. On sait que si on présente au soleil une lentille de verre, les rayons de calorique comme ceux de la lumière, se réfractent et se réunissent ensemble en un point qu'on nomme *foyer*. — Nous parlerons ailleurs des variations de chaleur d'une extrémité à l'autre du spectre solaire : les résultats découverts par *Herschel* et confirmés par beaucoup de physiciens, prouvent que les rayons calorifiques sont soumis aux mêmes lois que la lumière. — Les phénomènes du calorique rayonnant, présentent une grande analogie avec ceux de la lumière; mais cette analogie devient en quelque sorte plus frappante dans la *polarisation*, soit par réflexion, soit par réfraction : la chaleur se comporte ici absolument comme la lumière, ainsi que l'a montré M. *Bérard*. En traitant de la lumière, nous dirons en quoi consiste ce singulier phénomène de la polarisation. — La diversité des facultés conductrices des corps fournit des applications utiles à nos besoins journaliers. Suivant qu'on veut concentrer la chaleur sur une substance, ou échauffer un appartement au moyen d'un fourneau ou d'un poêle, il faut, dans le premier cas, employer de mauvais conducteurs, et dans le second, de très-bons conducteurs de la chaleur. Lorsqu'on veut conserver la chaleur du corps, il convient de s'habiller d'étoffes peu conductrices; dans le cas contraire, on emploie le lin, le chanvre, etc. — MM. *Dulong* et *Petit* ont recherché avec beaucoup de soin les

lois du refroidissement des corps, en tenant compte de toutes les circonstances accessoires : mais il a été impossible de réduire ces lois à un simple énoncé qui puisse en présenter l'ensemble. Ces deux physiciens, en combinant leurs recherches physiques avec la théorie chimique des atômes, sont parvenus à ce résultat important, que les atômes de tous les corps ont la même capacité pour la chaleur, ensorte que cette capacité ne varierait dans les corps qu'en raison de ce que, sous un même poids, la quantité d'atômes est plus ou moins considérable. On conçoit toute la fécondité des résultats de cette importante observation. »

QUATRIÈME SECTION.

DES CORPS LIQUIDES.

CHAPITRE XXI.

Des Liquides en général.

§ 1. PARMI les liquides, il en est peu qui le soient par eux-mêmes et dans leur état simple ; néanmoins, indépendamment de l'eau et du mercure, on peut encore compter dans cette classe l'alcool, l'éther et les huiles fluides. Mais ces liquides, et particulièrement l'eau, ont le pouvoir de dissoudre un si grand nombre de substances solides, liquides et même aériformes, qu'on trouvé une quantité infinie de liquides, lorsqu'on y comprend toutes les dissolutions.

De l'Eau.

§ 2. L'influence que l'eau exerce, tant sur la nature inorganique que sur les corps organisés, et les usages infiniment multipliés qu'en font les hommes, ne peut échapper à l'observateur le moins attentif.

§ 3. Dans son état pur, l'eau est parfaitement transparente, sans couleur, sans odeur, et sans saveur sensible. Mais on ne peut l'obtenir à ce degré de pureté que par des distillations répétées. Cependant, la nature nous la donne presque pure dans l'eau de pluie et de neige. Les eaux des mers, des rivières, des fontaines et des puits, contiennent toujours en dissolution des substances étrangères, particulièrement des matières salines, et même des substances

organiques, ce qu'on a trop peu remarqué jusqu'ici. Ces modifications différentes rendent ces eaux plus ou moins appropriées à nos usages.

§ 4. La force d'affinité de l'eau ne lui donne pas seulement le pouvoir de dissoudre beaucoup de corps, mais aussi de se combiner elle-même avec beaucoup de corps solides et fluides, et avec toutes les substances aériformes. Dans les combinaisons de ce genre, elle devient souvent solide ou élastique, et alors elle échappe entièrement à nos sens.

§ 5. L'action de l'eau, relativement à un sel pur et dégagé de tout mélange étranger, doit sur-tout être remarquée. Selon que la quantité d'eau ou de sel est en excès, le sel est rendu fluide par l'eau, ou l'eau devient solide par le sel; c'est pour cela que chaque sel contient une certaine quantité d'eau solide qu'on a nommée son *eau de cristallisation*, parce qu'on croyait que les sels n'étaient susceptibles de cristalliser qu'au moyen de cette eau. Quelque sels attirent l'eau si fortement, qu'ils se fondent à l'air; d'autres, au contraire, sont tellement privés de leur eau par l'air, qu'ils se décomposent et tombent en poussière. La première espèce comprend les sels desséchés qui sont privés artificiellement de leur eau de cristallisation: les sels de ce genre, dont les effets sont les plus remarquables, sont la potasse et le muriate de chaux.

§ 6. Nous avons appris, dans la section précédente, comment l'eau est modifiée par la chaleur. Nous avons vu aussi (pag. 11, § 9) que l'eau n'est pas une substance simple, comme on le croyait autrefois, mais un composé d'oxigène et d'hydrogène. On a pourtant recommencé, dans ces derniers temps, à nier la décomposition de l'eau; pour cela, on a prétendu que l'eau se change en un gaz permanent, par la seule combinaison avec le calorique ou avec quelqu'autre substance impondérable, et que de cet état elle peut redevenir eau par le procédé contraire. Mais cette assertion repose sur des fondemens ou faux ou très-incertains. (Voyez *Annales de Gilbert*, IX, 265.)

§ 7. Le poids de l'eau est, parmi les propriétés mécaniques qu'elle possède, la plus importante pour le physicien. Entre les nombreuses expériences qui ont été faites pour la détermination exacte de son poids, on doit regarder les deux suivantes comme des expériences *normales*.

1.° Une pesée faite très-soigneusement à Berlin, en 1798, donna 288 grains pour le poids d'un pouce cubique duodécimal de Brandebourg d'eau distillée, prise à la température de 14° de *Deluc*, ce qui donne 18,8136 grains de Paris, pour le poids d'un centimètre cube. *Eytelweins Vergleichung der in den Preuss. Staaten eingeführte Maasse und Gewichte*. Berlin, 1798, § 28.

2.° Lors de l'établissement du nouveau système des poids et mesures, on a fait en France une pesée semblable avec tout le soin possible, et l'on dut y mettre d'autant plus de précaution, que la nouvelle unité de poids, qu'on nomme *gramme*, devait être déterminée d'après le poids d'un centimètre cube d'eau distillée, prise à l'état de sa plus grande condensation, c'est-à-dire, à 3 $\frac{1}{3}$ de *Deluc* (pag. 85, § 2.) On trouva ce poids = 18,82715 grains de l'ancien poids de marc français. (Voyez *Physique d'Haüy*.) (1).

---

(1) D'après l'ouvrage de *Eytelwein*, cité ci-dessus, le pied duodécimal de Brandebourg = 139,13 lignes de Paris, § 4; 5 grains de poids médicinal = 87 richtpfennigstheile de Cologne, § 49; enfin l'once de l'ancien poids de marc français = 8575,36 richtpfennigstheile de Cologne, § 55. Si l'on réduit maintenant, d'après ces rapports, la pesée de Berlin en poids et en mesure français, on trouve que le centimètre cube d'eau distillée, pèse 18,8136 grains de Paris, à la température de 14° de *Deluc*; qu'ainsi il peserait un peu plus à 3 $\frac{1}{3}$. Si l'on pense que ce résultat, outre les petites inexactitudes inévitables dans toutes les expériences, dépend encore de la comparaison de trois poids et de deux mesures, on peut être certain de l'attention scrupuleuse avec laquelle on a fait ces comparaisons.

Pour compléter ces résultats intéressans, je joins ici une table des dilatations de l'eau, de 0° à 100° du thermomètre centésimal, telle que je l'ai conclue des expériences de *Deluc*; elle a été calculée par MM. *Pouillet* et *Deflers*.

§ 8. Les expériences ont prouvé que l'eau ne possède qu'à un

Tempér.e de l'eau.	Volumes.	Densités.	Tempér.e de l'eau.	Volumes.	Densités.
0	1,00000000	1,0000000	40	1,01229496	0,9878544
1	0,99995523	1,0000447	41	1,01292812	0,9872370
2	0,99993058	1,0000694	42	1,01357490	0,9866069
2,736	0,99992521	1,0000746	43	1,01423514	0,9859646
3	0,99992589	1,0000739	44	1,01490866	0,9853103
4	0,99994099	1,0000593	45	1,01559531	0,9846441
5	0,99997571	1,0000241	46	1,01629494	0,9839665
6	1,00002990	0,9999700	47	1,01700736	0,9832771
7	1,00010340	0,9998966	48	1,01773243	0,9825766
8	1,00019604	0,9998041	49	1,01846998	0,9818648
9	1,00030766	0,9996925	50	1,01921984	0,9811425
10	1,00043809	0,9995620	51	1,01998187	0,9804094
11	1,00058718	0,9994131	52	1,02075589	0,9796660
12	1,00075476	0,9992457	53	1,02154173	0,9789124
13	1,00094067	0,9990600	54	1,02233925	0,9781423
14	1,00114474	0,9988564	55	1,02314826	0,9773754
15	1,00136682	0,9986350	56	1,02396862	0,9765923
16	1,00160674	0,9983938	57	1,02480016	0,9758003
17	1,00186435	0,9981390	58	1,02564272	0,9749982
18	1,00213946	0,9978650	59	1,02649613	0,9741877
19	1,00243194	0,9975739	60	1,02736024	0,9733683
20	1,00274116	0,9972663	61	1,02823487	0,9725403
21	1,00306829	0,9969411	62	1,02911988	0,9717040
22	1,00341185	0,9965997	63	1,03001508	0,9708595
23	1,00377212	0,9962419	64	1,03092034	0,9700071
24	1,00414893	0,9958681	65	1,03183547	0,9691467
25	1,00454211	0,9954783	66	1,03276031	0,9682788
26	1,00495152	0,9950729	67	1,03369472	0,9674035
27	1,00537698	0,9946517	68	1,03463853	0,9665212
28	1,00581832	0,9942154	69	1,03559156	0,9656317
29	1,00627540	0,9937637	70	1,03655366	0,9647353
30	1,00674805	0,9932970	71	1,03752464	0,9638326
31	1,00723610	0,9928159	72	1,03850440	0,9629232
32	1,00773939	0,9923200	73	1,03949272	0,9620076
33	1,00825777	0,9918098	74	1,04048948	0,9610860
34	1,00879106	0,9912856	75	1,04149451	0,9601585
35	1,00933910	0,9907473	76	1,04250755	0,9592256
36	1,00990174	0,9901952	77	1,04352856	0,9582872
37	1,01047881	0,9896298	78	1,04455740	0,9573433
38	1,01107014	0,9890512	79	1,04559357	0,9563945
39	1,01167558	0,9884592	80	1,04663760	0,9554406

* La table suivante est extraite du tom. II du *Natural Philosophy* de M. *Young*.

très-faible degré les propriétés de la *compressibilité*, (*) de la *dila-*

TABLE DE LA DILATATION DE L'EAU.

Degrés du thermomètre centésimal.	Dilatations observées.		Degrés du thermomètre centigrade.	Dilatations observées.	
— 12°	0,00185	Dalton.	22	0,00218	Gilpin.
— 1°	0,00019	Gilpin.	23	0,00243	
— 0°	0,00012		24	0,00268	
+ 1	0,00006		25	0,00298	
+ 2	0,00003		26	0,00318	
+ 3,89Max	0,00000		27	0,00346	
5	0,00001		28	0,00374	
6	0,00003		29	0,00402	
7	0,00007		30	0,00420	
8	0,00013		35	0,00598	
9	0,00020		40	0,00809	Kirwan.
10	0,00027		45	0,01012	
11	0,00037		50	0,01258	
12	0,00047		55	0,01517	
13	0,00059		60	0,01776	
14	0,00072		65	0,02060	
15	0,00086		70	0,02352	
16	0,00103		75	0,02661	
17	0,00120		80	0,02983	
18	0,00137		85	0,03319	
19	0,00157		90	0,03683	
20	0,00176		95	0,04043	
21	0,00198		100	0,04333	

On voit que le *maximum* de condensation a lieu à la température 3,89 : c'est à ce maximum de densité qu'on rapporte celle des corps.

(*) A l'aide d'un appareil très-ingénieux, M. *Œrsted* a reconnu que, sous le poids d'une atmosphère, l'eau se contracte des 46 millionièmes de son volume : cette compressibilité, toute faible qu'elle est, n'est pas sans influence dans les phénomènes physiques. Si, comme on a lieu de le croire, la mer a des profondeurs qui s'étendent jusqu'à 3 ou 4 lieues, la pression qui s'exerce sur le fonds du bassin, peut aller jusqu'à 12 ou 13 cents atmosphères, ensort que l'eau à cette profondeur, peut avoir une densité d'environ 5 à 6 centièmes plus grande que celle de la surface : on conçoit alors qu'aucune substance végétale ou animale

tabilité, et de l'*élasticité* ; et ce n'est que dans l'application des très-grandes forces que leurs effets deviennent sensibles. (*Voyez*, sur les expériences faites à ce sujet, *Gehler*, IV, 631-640 ; *Fischer*, V, 500-512.)

§ 9. Ni les expériences ni la théorie ne peuvent déterminer d'une manière décisive que l'eau soit *poreuse*. Elle paraît à nos sens comme une masse parfaitement continue, et l'expérience a appris qu'elle est parfaitement impénétrable aux gaz les plus déliés, pourvu qu'aucune affinité chimique n'exerce son influence pour la combiner avec eux (1).

Du Mercure.

§ 10. Comme on fait un très-grand usage du mercure dans les expériences, le physicien doit avoir aussi quelques connaissances sur cette substance. C'est un véritable et parfait métal qui se rapproche même, par ses propriétés chimiques, des métaux les plus précieux : lorsqu'il est à l'état solide, il ne lui manque rien de l'apparence d'un métal : le plus pur est celui qu'on retire du cinabre. Dans cet état, son poids spécifique est de 13,586 par rapport à l'eau. On doit remarquer, relativement à ses propriétés chimiques, qu'il dissout facilement tous les métaux, à l'exception du fer. On nomme *amalgame* sa combinaison avec les autres métaux. Lorsqu'on fait des expériences, il faut éviter, à cause de cette propriété, de le mettre en contact avec d'autres métaux que le fer. Il peut être conservé dans des vases de verre, de terre ou de bois.

De l'Alcool.

§ 11. Tous les sucs doux végétaux sont susceptibles de fermentation vineuse : tandis qu'elle se produit, une partie des substances

---

ne saurait y vivre, et qu'il ne peut se faire aucun échange des eaux profondes avec les eaux supérieures, même sous l'influence des tempêtes les plus violentes. On a reconnu, en outre, qu'à ces profondeurs, l'eau des mers se maintient à la température de 3°,89 (therm. cent.) qui est celle de son *maximum* de densité, et comme les liquides sont mauvais conducteurs de la chaleur, celle que nous recevons du soleil, est presque sans influence sur les eaux profondes des lacs et de la mer.

(1) Il serait, je crois, impossible de trouver des circonstances ou des dispositions d'appareil dans lesquelles cette difficulté n'eût pas son effet.

sucrées qu'ils contiennent, se change en un liquide inflammable qu'on appelle *alcool*. En distillant cet alcool au moyen d'une chaleur douce, on peut le séparer des autres principes constituans des sucs végétaux, à cause de sa grande volatilité. Cependant, on ne peut empêcher qu'il ne s'y mêle encore une assez grande quantité d'eau. Par une nouvelle distillation, il est purifié davantage, et c'est alors ce qu'on nomme *eau-de-vie*. La distillation étant réitérée plusieurs fois, il se sépare toujours de plus en plus d'avec l'eau, et il prend le nom d'*alcool rectifié*. Cependant, il ne peut être tellement purifié par de simples distillations, qu'il ne lui reste environ $\frac{1}{4}$ de son poids d'eau. Si l'on veut rectifier davantage, il faut le faire distiller sur un sel privé de son eau de cristallisation, et parfaitement sec. On croit que cette opération le dégage entièrement de toute l'eau qu'il contenait, et on lui donne alors le nom d'*alcool absolu*.

§ 12. L'alcool pur est donc un liquide qui dérive immédiatement de la nature organique. Il est parfaitement transparent et sans couleur, d'une saveur brûlante, et d'une odeur agréable. Il brûle avec une flamme bleuâtre, et ne produit aucune fumée, aucune suie, ni aucun sorte de résidu. Son poids spécifique, lorsqu'il est pur, est de 0,792, relativement à l'eau. Il se mêle avec l'eau dans toutes sortes de proportions, et paraît produire alors un échauffement intérieur; la combinaison des deux substances occupe moins d'espace que n'en remplissaient les deux parties prises séparément. On a déjà parlé dans la troisième division, de ses rapports avec la chaleur; il dissout beaucoup de corps, particulièrement les résines dont il forme, en se combinant avec elles, ce qu'on appelle un *vernis de laque* : il dissout beaucoup de sels, et n'a aucune influence sur d'autres. (On peut voir, sur cela, les Manuels de Chimie, par exemple, *Grey's Handbuch*, 2.e partie, § 1831-1835. *Wenzels Lehre von der Verwandschaft der Korper*, Dresde, 1782, XVIIe division, pag. 428.) Dans l'état pur, l'alcool est exempt de toute fermentation et de toute corruption, et il en préserve les corps qui y sont plongés.

De l'Éther.

§ 13. L'éther est proprement un alcool dans lequel les proportions des principes constituans, sont changées. Ordinairement on les prépare à cette nouvelle combinaison, en distillant à un feu doux un

mélange d'alcool et d'acide sulfurique. Le produit se nomme alors *éther sulfurique*. Il est sans couleur, d'une odeur très-pénétrante et très-agréable, et d'une saveur brûlante; il est extrêmement volatil, et s'allume non-seulement comme l'alcool, par le contact, mais même par la seule approche d'un corps enflammé; il brûle de la même manière que l'alcool, mais il dépose un léger résidu; il dissout beaucoup de corps particulièrement les résines; et pour celle qu'on nomme *gomme élastique*, il est le seul dissolvant connu qui ne lui ôte pas son élasticité; il est le plus léger de tous les liquides connus. Le poids spécifique de l'éther préparé avec beaucoup de soin, est seulement de 0,745; et, selon *Lowitz*, il est susceptible d'être encore purifié davantage. Si on le mêle avec une quantité à-peu-près égale d'eau, il ne se forme pas une combinaison homogène entre ces deux substances; mais lorsque le mélange devient tranquille, on distingue visiblement deux liquides dont le supérieur est composé de beaucoup d'éther et d'un peu d'eau, et l'inférieur est un mélange de beaucoup d'eau et de peu d'éther : il ne se combine donc pas avec l'eau dans toutes les proportions.

Remarques générales sur les Liquides.

§ 14. C'est une chose vérifiée par l'expérience, que tous les liquides, à l'exception peut-être des huiles grasses, prennent l'état de fluides élastiques, lorsqu'ils sont placés en petite quantité dans un espace vide d'air. Il faut nécessairement conclure de ce phénomène, que, pour tous les liquides où il a lieu, l'état liquide n'est pas tant la conséquence d'une attraction interne, que celle d'une pression extérieure produite en partie par la pesanteur du liquide lui-même, en partie par l'air extérieur; opinion qui s'accorde parfaitement avec l'hypothèse présentée ci-dessus, pag. 8, § 4. — Car, puisque l'état liquide suppose un équilibre absolu entre la force attractive de la matière pesante et la force du calorique qui tend à dilater, il est permis de croire que, dans la nature entière où l'on ne trouve nulle part un exact équilibre, il n'existe peut-être aucun corps qui se pût conserver à l'état liquide au moyen de ses seules forces internes. L'instabilité perpétuelle de l'action de la chaleur, serait encore un obstacle à cet équilibre; mais, au contraire, il peut y avoir beaucoup de corps dans lesquels l'une ou l'autre de ces forces ne soit en excès que d'une

petite quantité. Les substances grasses et visqueuses paraissent devoir leur état à une faible prépondérance de la force de cohésion; dans les autres substances, le petit excès de la force expansive est tenu en équilibre par la pression extérieure. Telle était, dans ses parties essentielles, l'opinion de *Lavoisier*; seulement, il semble avoir fait trop peu d'attention à la pesanteur propre des matières fluides. (*Voyez* le *Systèmes de Chimie* de *Lavoisier*) (1).

CHAPITRE XXII.

Du poids spécifique des Corps liquides et solides.

§ 1. QUOIQUE les méthodes ordinaires d'évaluer le poids spécifique, ne puissent être exposées qu'après l'hydrostatique, il en existe cependant une qui peut déjà être expliquée ici complètement : c'est la méthode de *Klaproth*, et elle mérite d'autant plus d'être développée, qu'elle n'est décrite nulle part, à ma connaissance, quoiqu'elle doive obtenir la préférence sur les autres méthodes dans la plupart des cas, à cause de sa simplicité, de sa commodité et de son exactitude. Tout l'appareil qu'elle exige, consiste en une balance exacte et un ou plusieurs flacons de verre bouchés à l'émeri.

§ 2. *Trouver le poids spécifique d'un liquide.* On tare le flacon vide, c'est-à-dire, on le met en équilibre au moyen de poids; ensuite on le pèse plein d'eau distillée, en ayant soin de le boucher exacte-

(1) Tous les liquides se vaporisent dans le vide, même les huiles grasses, et la force élastique qu'ils y manifestent, est d'autant plus grande que leur ébullition se fait à une moindre température. Ainsi, l'éther qui bout à 30°, a déjà, à la température de 15°, une élasticité considérable qu'il manifeste dans le vide. L'eau qui ne bout qu'à 80°, n'aurait, à la même température de 15°, qu'une élasticité beaucoup moindre; et moindre encore doit être celle des huiles grasses qui ne bouillent qu'à une température bien plus élevée : car, comme c'est seulement alors qu'elles ont une force élastique capable de faire équilibre au poids de l'atmosphère, il n'est pas étonnant qu'elles en aient une très-faible dans les températures basses. Nous reviendrons sur ce sujet en traitant de l'évaporation.

ment; puis on le remplit du liquide qu'on examine, et en divisant le dernier poids par le premier, on obtient le poids spécifique cherché. Supposons que le flacon contienne 864 grains d'eau distillée, et seulement 673 grains d'éther : le poids spécifique de ce dernier, est $=\frac{673}{864}=0{,}779$.

L'exactitude de ce procédé est sensible, d'après ce que nous avons dit sur le poids spécifique, pag. 21, § 4 et note 1.

§ 3. *Trouver le poids des corps solides qui ne se dissolvent pas dans l'eau.* Pour évaluer le poids spécifique des corps solides, il faut seulement que le corps puisse être introduit dans le flacon; mais il n'est pas nécessaire qu'il soit d'un seul morceau; il peut même être en poussière fine. On pourrait faire cependant, pour les corps plus volumineux, des flacons avec une ouverture suffisamment large pour qu'ils y pussent passer. La manière la plus simple de faire l'expérience, est la suivante :

On tare d'abord un flacon exactement rempli avec de l'eau distillée; on pose ensuite le corps qu'on veut examiner, dans le même plateau, auprès du flacon, et l'on met dans l'autre plateau le poids nécessaire pour établir l'équilibre; on voit ainsi quel est le poids du corps; on enlève alors le flacon et le corps, et l'on introduit le corps dans le flacon rempli d'eau; on ferme ensuite le flacon, et l'on prend grand soin à ce qu'il ne reste aucune bulle d'air dans l'intérieur. Après l'avoir bien essuyé à l'extérieur, on le replace dans le plateau de la balance où il était auparavant; ce côté est alors plus léger, et il faut mettre auprès du flacon autant de poids qu'il est nécessaire pour rétablir l'équilibre : ce poids indique combien le corps a fait sortir d'eau du flacon. En divisant le poids du corps par le poids de l'eau déplacée, on obtient le poids spécifique cherché. Par exemple, en supposant que le corps pèse 523 grains, et l'eau déplacée 84 grains, le poids spécifique du corps sera $=\frac{523}{84}=6{,}226$ (1).

---

(1) Pour qu'une balance fût rigoureusement exacte, il faudrait que ses deux bras fussent parfaitement égaux, et que les mêmes poids placés dans un des plateaux ou dans l'autre, fissent toujours équilibre au même corps; mais il est presqu'impossible d'atteindre une pareille perfection : et si l'on se donne la peine de faire subir cette épreuve aux balances qui passent pour les plus exactes, on n'en trouvera probablement pas une seule qui y satisfasse. Mais on peut très-bien se

§ 4. Il y a des corps qui s'imbibent d'eau, sans se dissoudre ni se décomposer. Pour ceux-ci, la question de la recherche du poids spécifique présente une espèce d'équivoque. Veut-on connaître le poids spécifique d'un grès, par exemple, en faisant abstraction des interstices qui s'y trouvent, et en examinant seulement quel serait le poids spécifique d'un corps qui aurait un même volume et un même poids que ce grès, mais qui serait sans interstices sensibles? ou bien, veut-on savoir le poids spécifique de la masse propre du corps? Dans les deux cas, on peut trouver le poids spécifique de la manière suivante : on détermine d'abord, comme il est dit à l'article 3, le poids du corps sec dans l'air; nous supposons qu'il pèse 1000 grains, ensuite on le plonge dans l'eau jusqu'à ce qu'il soit parfaitement imbibé; alors on voit combien son poids s'est augmenté : nous admettons que cette augmentation est de 50 grains : on introduit alors le corps dans le flacon, et l'on voit combien il déplace d'eau. Supposons que ce soit 240 grains : maintenant, si c'est dans le premier sens qu'on veut déterminer le poids spécifique du corps, on divise 1000 par 240, et l'on trouve 4,167. Si l'on veut, au contraire, savoir le poids spécifique suivant le second sens, on doit considérer que la masse propre du corps, n'a pas déplacé 240 grains d'eau, mais $240 - 50 = 190$ grains. Son poids spécifique et donc $\frac{1000}{190} = 5{,}263$.

Lorsqu'un corps se décompose dans l'eau, comme cela arrive pour la plupart des argiles, cette double signification a encore lieu. Seulement dans le premier sens, où l'on considère le corps comme une masse con-

---

passer de cette perfection; et pourvu que la balance soit sensible, on peut trouver le poids d'un corps aussi bien que si les deux bras étaient exactement égaux. Il suffit, pour cela, de peser dans un même plateau le corps et les poids qu'on lui compare. On met premièrement dans un des plateaux le corps que l'on veut peser, et on lui fait équilibre de l'autre côté avec du plomb, des feuilles de cuivre ou d'autres matières quelconques; puis, lorsque l'équilibre est bien établi, on ôte le corps et on lui substitue des poids en quantité suffisante pour ramener l'équilibre. Il est clair alors que ceux-ci représentent exactement le poids du corps dont ils n'ont fait que prendre la place, et cela indépendamment des inégalités que les deux bras de la balance peuvent avoir. Cette méthode *des doubles pesées* est due à *Borda*. J'ai l'ai exposée en détail dans mon *Traité de Physique*, avec l'indication de toutes les précautions qu'il faut y joindre, pour que les résultats soient exacts.

tinue, le poids spécifique doit être incertain en soi, puisqu'un corps de cette espèce peut avoir une densité très-différente, à cause de la solution de continuité de ses parties. Dans ce cas, on ne peut avoir qu'une évaluation approchée. On l'obtient en opérant justement comme il est dit à l'article 3, et en observant seulement de fermer le flacon avant que le corps qu'on y a introduit, se soit déjà décomposé. Si l'on veut, au contraire, connaître le poids spécifique dans le deuxième sens, le mieux est de broyer le corps en parties aussi fines qu'il est possible, et d'opérer ensuite suivant la méthode décrite à l'article 3.

§ 5. *Trouver le poids spécifique des corps qui se dissolvent dans l'eau.* Quand on veut savoir le poids spécifique d'un sel ou d'un corps quelconque qui se dissout dans l'eau, on choisit un autre liquide, comme l'alcool, ou quelque huile où il ne se dissout pas. On détermine d'abord, suivant l'article 2, le poids spécifique de ce liquide, relativement à l'eau. Nous supposons qu'il soit de 0,866. On évalue ensuite le poids spécifique du sel par rapport à ce liquide, selon l'article 3 : nous supposons qu'on le trouve de 3,278. On multiplie alors ces deux nombres l'un par l'autre, et leur produit, 2,829748, exprime le poids spécifique du corps (1).

---

(1) Soient S, E et L les poids respectifs du sel, de l'eau et du liquide, à égalité de volume : $\frac{S}{L}$ sera (pag. 21, note) le poids spécifique du sel, rapporté au liquide, et $\frac{L}{E}$ sera celui de ce dernier, relativement à l'eau : d'où il suit que leur produit $\frac{S}{L} \times \frac{L}{E} = \frac{S}{E}$ exprime la pesanteur spécifique du sel, rapporté à l'eau : ce qui est la règle donnée article ci-dessus.

Dans toutes les opérations précédentes, il faut, si l'on veut atteindre la dernière exactitude, connaître le poids de l'air que peut contenir le flacon; et cela se déduit de sa capacité; car les corps perdant dans l'air une partie de leur poids, égale à celle du fluide qu'ils déplacent, ce poids forme une quantité qu'il faut ajouter à tous ceux que l'on observe; et il est clair qu'en négligeant cette circonstance, on n'aurait pas exactement leur rapport; par la même raison, il faut observer le baromètre et le thermomètre pendant l'expérience; car le poids du volume d'eau déplacé en dépend. Il faut aussi dégager tout l'air contenu dans l'intérieur des liquides. Ceci est très-sensible dans les expériences exactes. (*Voyez* le *Traité de Physique* de *Biot.*)

§ 6. Nous allons joindre ici une courte liste de poids spécifiques. On en trouve une plus considérable dans *Gehler*, III, 912; et une encore plus étendue dans *Fischer*, IV, 505.

Platine	20,722	*Klaproth.*
Or	19,258	*Brisson.*
Mercure (1)	13,586	*Fischer.*
Plomb	11,352	*Fischer.*
Argent	10,784	*Klaproth.*
Bismuth	9,070	*Brisson.*
Cuivre	8,876	—
Laiton	8,395	—
Fer	7,800	*Bergman.*
Acier	7,767	*Musschenbroek.*
Etain	7,264	*Bergman.*
Zinc	6,862	—
Craie	2,25	jusqu'à 2,32
Marbre de Carrare	2,716	*Brisson.*
Gypse compacte	1,87	jusqu'à 2,29.
Spath pesant	4,3	jusqu'à 4,4.
Terre à pots	1,8	jusqu'à 2,0.
Cristal de roche	2,653	*Brisson.*

(1) M. *Fischer* donne cette évaluation du poids du mercure, d'après des expériences précises et souvent répétées, qu'il a faites à la température de 13° de *Réaumur*, en employant du mercure très-pur qui lui avait été donné par M. *Klaproth.*

Nous avons trouvé, M. *Arago* et moi, par des expériences très-exactes, que le poids du mercure réduit au vide et à la température de la glace fondante, est 13,5995. Nous nous sommes servis de mercure distillé que nous a donné M. *Berthollet.*

Si l'on réduit le résultat de M. *Fischer* à ces mêmes circonstances, en employant la dilatation du mercure égale à $\frac{1}{5412}$ de son volume pour chaque degré du thermomètre centigrade, et celle de l'eau que j'ai rapportée à la page 109, on trouve la pesanteur spécifique du mercure, égale à 13,6183, la différence 0,0188 est $\frac{1}{724}$ de la valeur totale, et elle peut tenir aux différences des nombre employés par M. *Fischer* et moi, pour réduire les dilatations et principalement celle de l'eau, ou peut-être à ce qu'il n'aurait pas eu soin de purger d'air l'eau qu'il a employée dans l'expérience, ou enfin aux erreurs inévitables de ces résultats.

Silex	2,58	jusqu'à 2,67.
Spath fluor	2,44	jusqu'à 2,60.
Pierre ponce	0,914	*Brisson.* —
Grès	2,11	jusqu'à 2,56.
Verre vert ordinaire	2,5	jusqu'à 2,6.
Verre blanc	2,4	jusqu'à 2,5.
Flint-glass anglais	3,329	*Brisson.*
Salpêtre	1,900	*Musschenbrock.*
Sel commun	1,918	—
Ammoniaque	1,420	—
Alcool (absolu)	0,791	*Lowitz.*
Éther sulfurique (1)	0,716	jusqu'à 0,745.
Cire	0,954	jusqu'à 0,960.
Huile d'olive	0,913	*Musschenbrock.*
Huile de térébenthine	0,792	—
Bois de chêne (frais)	0,93	—
——————— (sec)	1,67	—
Bois de hêtre	0,85	—
— de sapin	0,55	—
— de liège	0,24	—

§ 7. Une circonstance remarquable dans la combinaison chimique de deux corps, c'est que le poids spécifique de cette combinaison ne peut pas, plus que sa chaleur spécifique, être déterminé *à priori*, parce que la combinaison prend toujours une autre densité que celle qu'elle devrait avoir d'après les proportions de principes constituans. Par exemple, si l'on mêle des volumes égaux d'eau distillée et d'alcool du poids spécifique de 0,824, on devrait croire que le poids spécifique de la combinaison, tiendra le milieu entre 1,000 et 0,824; par conséquent qu'il serait de 0,912; mais, en faisant l'expérience, on le trouve de 0,930 à 0,940; de sorte que le liquide est plus dense après la combinaison, et occupe un espace plus petit que celui que remplissaient les principes constituans.

---

(1) L'éther sulfurique est d'autant plus léger, qu'il est plus pur. La première évaluation est de *Lowitz*, la seconde de *Rose*, et elle se rapporte à l'éther préparé de la manière ordinaire.

§ 8. Comme la chaleur dilate tous les corps, et diminue par conséquent leur poids spécifique, il faut toujours faire les pesées à une température déterminée, lorsqu'on veut opérer avec exactitude. On choisit ordinairement une température de 14° de *Deluc*, parce que, aussi bien en été qu'en hiver, c'est la température la plus habituelle des chambres habitées, et qu'une différence d'un ou de deux degrés, n'est pas très-importante (1).

§ 9. *Trouver la capacité cubique d'un vase ou d'un autre corps.* La détermination exacte du poids de l'eau, et du poids spécifique des divers corps, a, entre autres avantages, celui de fournir un moyen de connaître, par des pesées, la capacité cubique de tous les corps beaucoup plus exactement que par des mesures géométriques.

S'il s'agit de trouver la capacité cubique d'un vase quelconque, on le remplit d'eau, et l'on pèse combien il en contient. Ce poids, exprimé en grains et divisé par 288 (pag. 107, § 7), donne la capacité cubique du vase en pouces cub. ddc. de Brandebourg. Si l'on exprime le poids en grammes, le nombre de grammes donne immédiatement la capacité du vase en centimètres cubes, sans qu'il soit besoin d'aucun calcul. Si l'on aspirait à la dernière exactitude, il faudrait réduire la pesée à la température de 3° $\frac{1}{3}$ de *Deluc*, d'après la dilatation connue de l'eau.

§ 10. En multipliant le poids spécifique d'un corps par 288, on trouve combien un pouce cubique duodécimal de la substance de ce corps, pèse en grains de Brandebourg; et si l'on connaît le poids absolu du corps, on n'a qu'à diviser ce dernier poids exprimé en grains de Brandebourg, par le poids d'un pouce cubique, pour trouver combien sa capacité naturelle comprend de pouces cubiques. On voit de quel usage général est cette méthode (2).

---

(1) Il serait quelquefois très-difficile de se procurer artificiellement cette température moyenne de 14°, et il faudrait prendre beaucoup de peine pour la conserver; mais avec un peu de calcul on peut éviter cet embarras; car si l'on connaît les dilatations des corps sur lesquels on opère, et c'est une donnée indispensable, on peut, en observant les températures où les pesées sont faites, réduire tous les poids à telle température que l'on voudra, et trouver ainsi leurs rapports. (*Voyez* sur cela mon *traité de Physique*.)

(2) Soient V la capacité matérielle ou le volume d'un corps quelconque, S son poids spécifique, p son poids absolu exprimé en grains de Brandebourg; 288 S

Quand on se sert de grammes, le poids spécifique d'un corps exprime immédiatement combien pèse un centimètre cubique de sa substance; et en divisant le poids absolu exprimé en gramme, par le poids d'un centimètre, on connaîtra combien le volume de ce corps comprend de centimètres cubiques.

CHAPITRE XXIII.

De l'équilibre des liquides pesans, ou premiers principes de l'Hydrostatique.

§ 1. Le caractère mécanique essentiel d'un liquide, est la parfaite mobilité réciproque de toutes ses parties. De là se déduit le principe suivant qui doit être considéré comme le fondement le plus important de la théorie de l'équilibre et du mouvement des corps liquides. *Chaque pression qui s'exerce sur un liquide, n'agit pas seulement dans sa direction propre, mais elle se propage uniformément de tous côtés dans le liquide entier* (1).

§ 2. Dans un liquide pesant, chaque particule qui se trouve au-dessous de la surface, par exemple, en A, (*fig.* 27), est pressée par le poids de la colonne de liquide AB qui s'élève au-dessus d'elle. Cette

---

le poids d'un pouce cubique de ce corps; par conséquent $V = \frac{p}{288\,S}$. Si deux des trois quantités V, p, S sont données, on trouve aisément la troisième; car, $p = 288\,SV$, et $S = \frac{p}{288\,V}$.

(1) Ce principe de l'égalité de pression en tous sens, peut se présenter d'une manière encore plus simple, d'après la considération de l'équilibre. Ce que nous connaissons de plus certain sur la nature des liquides, c'est leur extrême mobilité: si donc leurs particules sont en équilibre, il faut que chacune d'elles soit également poussée de toutes parts; car si elle l'était plus d'un côté que d'un autre, elle devrait, par l'effet de sa mobilité, se mouvoir du côté où la force serait plus considérable. Il est entendu que, dans l'évaluation des forces qui agissent sur un liquide, on comprend l'impénétrabilité des particules qui les font résister les unes aux autres, et aussi l'impénétrabilité des parois des vases qui supportent les mêmes pressions que les molécules d'eau contiguës avec elles.

particule presse avec la même force et dans toutes les directions le reste du liquide dont elle est environnée.

Si l'on fait passer par A un plan horizontal CD, chaque autre particule E qui se trouve dans ce même plan, doit être pressée avec la même force, s'il ne se produit aucun mouvement. On déduit de là ce théorème principal de l'Hydrostatique, *que la surface d'un liquide pesant, doit être horizontale pour que le liquide soit en équilibre.*

Ce théorème suppose que les directions des forces sont parfaitement parallèles. Si l'on imagine un corps céleste formé d'eau seulement, et qui soit en repos, sa surface devra être sphérique; mais, au contraire, s'il se meut autour de son axe, il prendra une forme aplatie, à cause de la force centrifuge qui tend à faire éloigner ses particules sous l'équateur ; et cette forme sera d'autant plus aplatie, qu'il tournera avec une plus grande vitesse (pag. 46 et 47, §§ 3 et 4).

§ 3. Le théorème (§ 2) conserve son exactitude de quelle forme que soit le vase, et de quelle manière que son intérieur soit divisé, pourvu seulement que les parties de liquide qui se trouvent dans les divers compartimens, aient une communication entre elles. Qu'on se représente par exemple, la ligne EF comme une cloison mince qui sépare le liquide dans toute la largeur du vase. D'après la troisième loi de *Newton* (pag. 19, § 8), cette surface résistera justement autant qu'elle sera pressée, c'est-à-dire, qu'elle agit précisément comme le feraient les particules de liquides, si elles se trouvaient à sa place. Une cloison semblable ne peut donc pas détruire l'équilibre. On peut donc introduire dans le vase autant de cloisons de cette espèce qu'on veut; et l'on conçoit que, dans tous les compartimens qui auront ensemble la moindre communication, le liquide s'élèvera toujours à une égale hauteur. Par conséquent, un liquide doit toujours se tenir à une hauteur égale dans des tubes recourbés, quelles qu'en soient la forme, la courbure et la largeur (1).

---

(1) Il y a une exception à faire pour les cas où les tubes sont très-étroits ou capillaires; car les fluides ne s'y mettent pas de niveau ; mais cela tient à l'action d'une force attractive propre aux particules matérielles qui composent le tube et le fluide ; et l'on fait abstraction de cette force dans les considérations que ce chapitre renferme. Au reste, nous reviendrons plus loin sur cette cause secondaire, et nous apprécierons ses effets.

§ 4. Le lit d'une rivière est rarement formé de matières impénétrables à l'eau : c'est pourquoi l'on trouve toujours de l'eau souterraine dans le voisinage d'une rivière. On conçoit facilement que, selon la règle précédente, cette eau doit se trouver à la même hauteur que l'eau de la rivière, quoiqu'un accroissement ou un décroissement particulier à celle-ci, puisse produire une différence passagère dans ces hauteurs. L'eau souterraine, au reste, ne provient pas uniquement de l'eau des rivières, mais encore des eaux de pluie et de neige, et, par conséquent, suivant les circonstances, elle peut fournir de l'eau aux rivières ou leur en retirer. Les circonstances locales déterminent à quelle distance et à quelle profondeur cette influence doit s'étendre.

Il est assez singulier que l'existence des eaux souterraines, qui est une chose si connue de tous les fontainiers et de tous les architectes praticiens, ne soit rapportée dans aucun ouvrage de physique que je connaisse. Cependant, c'est en elle qu'on trouve l'explication la plus simple et la moins forcée de la production et de l'entretien des fontaines et des rivières; phénomènes qu'on a tenté d'expliquer par des hypothèses pour la plupart très-bizarres. (*Voyez* le *Traité du mouvement des Eaux* de *Mariotte*, et la *Physique*, de *Haüy*.)

Pression des Liquides contre le fond et les parois latérales d'un vase.

§ 5. Puisque l'intensité de la pression que chaque point d'un liquide supporte et exerce, est déterminée par l'article 2, on peut aussi évaluer sans difficulté la pression qu'exerce et supporte une surface pressée par un liquide.

Quand la surface est horizontale, elle supporte précisément le poids d'une colonne de liquide qui a pour base cette surface pressée, et la hauteur de l'eau au-dessus de cette surface pour élévation. Si, par exemple, dans les quatre vases ABFE, (*fig.* 28, 29, 30, 31), le fond AB est d'une égale étendue, et la surface liquide EF d'une égale élévation au-dessus du fond, celui-ci supportera, dans les quatre vases, une même pression, et la force de cette pression est déterminée par le poids d'une colonne de fluide ABDC qui s'élèverait verticalement au-dessus du fond. Si l'on connaît l'étendue de la base AB et la hauteur du liquide AC, on trouve aisément l'espace que comprend la colonne ABDC; et si le poids d'un pied ou d'un pouce cube de ce liquide est connu, on a, en même temps, le poids

de la colonne. — La 31.e figure représente un *siphon anatomique* au moyen duquel on rend sensible la force de la pression : la cloison AB est pressée de bas en haut par le poids de la colonne EFGH.

§ 6. Les parties d'une paroi oblique AB, (*fig.* 32), subissent une pression inégale et proportionnelle à l'abaissement de chaque point au-dessous de la surface supérieure du liquide. Si cette paroi a la forme d'un rectangle, on démontre, par des raisonnemens géométriques, que la pression qu'elle supporte, est égale au poids d'un prisme d'eau qui a pour base la moitié du carré de la hauteur de l'eau BF, et la largeur de la surface pressée pour hauteur. La pression totale est la même sur une paroi verticale ou oblique (1).

§ 7. Lorsque deux ou plusieurs liquides qui ne se mêlent pas, par exemple, le mercure, l'huile et l'eau, sont réunis dans un même vase, ils se superposent d'après leur pesanteur spécifique ; mais les surfaces qui les séparent doivent être horizontales dans l'état d'équilibre.

§ 8. Si l'on introduit dans un tube recourbé ABC, (*fig.* 33) un liquide très-pesant, du mercure, par exemple, et qu'on verse dans un des côtés du même tube, un autre liquide plus léger, par exemple, de l'eau, leurs surfaces seront de même horizontales ; mais la surface C du liquide le plus léger, s'élevera beaucoup plus haut que la surface A du plus pesant. Si l'on mène par D, où les deux liquides se séparent, la ligne horizontale DE, la pression doit, pour qu'il y ait équilibre,

(1) Supposons qu'ayant prolongé la ligne CA, on mène BF perpendiculaire sur son prolongement : prenons ensuite AE = BF. Maintenant si l'on considère un point quelconque G de la paroi, et qu'on mène par G l'horizontale HI, BI est la hauteur de la colonne d'eau qui presse sur G. Mais comme les triangles BAF et BGI sont semblables, de même que BAE et BGH, on a AE : GH = BF : BI, puisque le rapport de BA à BG est commun aux deux triangles ; or, comme dans cette proportion AE = BF, de même GH = BI ; par conséquent GH représente la pression que supporte le point G. Comme on peut faire des raisonnemens semblables pour chaque point, l'on voit ainsi que le triangle BAE représente la pression que supporte toute la ligne AB. Maintenant, si la paroi AB est un rectangle, chaque ligne parallèle à la section AB, subit la même pression. Par conséquent, la pression sur tout le plan AB, est le poids d'un prisme d'eau qui a ABE pour base, et la longueur du plan AB pour hauteur. Mais le triangle ABE a sa base AE et sa hauteur égales entre elles et à la ligne BF. Ainsi sa surface est égale à la moitié du carré de la ligne BF.

être égale en D et en E; or cela ne peut arriver que lorsque les hauteurs des deux colonnes de liquides, qui exercent une pression sur DE, sont en raison inverse des poids spécifiques (*).

Pression d'un liquide sur les corps solides qui y sont plongés.

§ 9. Qu'on se représente dans l'eau tranquille BCD, (*fig.* 34), une masse d'eau A de forme et de grandeur arbitraire, circonscrite dans un espace tout-à fait géométrique, et distincte du reste de la masse: il est clair que la réunion des pressions que l'eau environnante exerce sur elle, doit produire une pression vers le haut, justement aussi grande que le poids de la masse ainsi isolée, puisqu'autrement cette masse ne se trouverait pas à l'état d'équilibre. Qu'on anéantisse maintenant, par la pensée, cette masse d'eau A, et qu'on place au lieu d'elle, dans cet espace, un corps solide de la même forme et de la même grosseur: chaque point de sa surface sera aussi fortement pressé par l'eau environnante, et exercera une pression aussi grande que l'eau dont il remplit la place.

Dans ces circonstances, le corps est sollicité par deux forces dont l'une agit de bas en haut, et est justement aussi grande que le poids de l'eau déplacée, et l'autre est le poids du corps lui-même qui le pousse vers le bas dans une direction contraire. De là se déduit ce théorème de l'équilibre entre les corps liquides et les corps solides: *un corps plongé dans un liquide, perd justement autant de son poids que pèse l'eau qu'il déplace* (**).

(*) C'est en cela que consiste le principe d'*Archimède*.

(**) Lorsqu'un vase hermétiquement fermé de toutes parts, et exactement rempli d'eau, a sa paroi percée d'un trou que bouche un piston poussé par une puissance, cette force se distribue à travers le liquide dans tous les sens, et la loi de cette espace de communication, découverte par *Pascal*, consiste en ce que, *quelque part qu'on prenne une surface égale à la base du piston, cette aire est pressée avec la même intensité que si le piston y était immédiatement appliqué.* Il résulte de ce principe de l'égalité de pression, que si l'on prend sur la paroi du vase, une aire double de celle qui agit sur ce piston, cette surface sera pressée avec une force double de celle qui agit sur le piston, et, en général, une aire quelconque de la paroi, éprouve une pression égale au produit de cette force multipliée par le rapport de cette aire à la base du piston. Ainsi, à l'aide de cette propriété, on peut augmenter presqu'indéfiniment l'intensité d'une puis-

§ 10. Si le corps A est précisément aussi pesant que l'eau déplacée, il doit, aussi bien que la masse d'eau déplacée elle-même, flotter librement dans l'eau; s'il est plus lourd que cette masse d'eau, il tombe non pas avec toute la force de son poids, mais seulement avec l'excédant sur le poids de l'eau déplacée. Enfin, s'il est plus léger, il s'élève vers le haut avec une force égale à l'excédent du poid de l'eau déplacée sur le sien propre.

Du flottement des Corps.

§ 11. Dans le dernier cas, c'est-à-dire, lorsque le corps plongé est plus léger que l'eau, il s'élève jusqu'à ce qu'une de ses parties dépasse la surface de l'eau. Par l'effet de cette ascension, la quantité d'eau déplacée diminue, et par conséquent, aussi la force qui l'élève; il doit donc arriver un instant où le poids de l'eau déplacée est égal au poids du corps; alors le corps se trouve dans les circonstances où il peut flotter sur le liquide.

§ 12. Mais l'expérience apprend qu'un corps ne peut pas flotter dans toutes les situations, quoiqu'il soit plongé à la profondeur convenable. Pour concevoir la cause de ceci, et généralement pour rendre raison de tous les phénomènes qui arrivent lorsque des corps flottent, on doit considérer particulièrement deux points: 1.° le centre de gravité du corps, dans lequel on peut supposer toute la pesanteur réunie; 2.° le centre de gravité de l'eau déplacée, dans lequel on peut supposer réunie toute la force qui soulève le corps. Le premier de ces points demeure toujours à la même place dans le corps, mais le second change de situation selon les changemens qui arrivent dans la forme et la situation des parties du corps qui plongent. Si ces deux points ne se trouvent pas dans une même verticale, le corps ne peut pas flotter à la surface du liquide. Si le premier point est placé verticalement au-dessus du second, le corps ne flotte pas encore nécessairement et d'une manière stable dans cette situation : il faut encore

sance. Par exemple, une force de 25 kilogrammes, agissant sur un piston dont la base a un centimètre carré, produira sur une aire dont l'étendue superficielle est d'un décimètre carré, la même pression qu'une force cent fois plus grande, ou égale au poids de 2500 kilogrammes, parce que la surface du décimètre est 100 fois celle du centimètre carré. C'est sur cette proposition qu'est fondée la *presse hydrostatique*.

que les circonstances soient telles que si sa position venait à changer d'une quantité infiniment petite, il y revînt naturellement et par une suite d'oscillations. Enfin, si le centre de gravité du corps se trouve verticalement au-dessous de celui de l'eau déplacée, le corps doit flotter nécessairement, et d'une manière stable. C'est une condition que l'on a soin de remplir dans l'arrimage des navires (pag. 33, note 1).

CHAPITRE XXIV.

De la Balance hydrostatique et des Aréomètres.

§ 1. On nomme *balance hydrostatique* un balance disposée de manière qu'elle peut servir à peser des corps sous l'eau; il n'est besoin, pour cela, que de faire tenir de petits crochets au-dessous d'une balance ordinaire, mais exacte. On attache le corps qui doit être pesé, à un fil mince, délié, par exemple à un crin dont le poids est négligeable par rapport à la masse du corps entier, et on le suspend au-dessous d'un des plateaux, de manière qu'on peut à volonté le peser dans l'eau ou dans l'air. Cependant, plusieurs physiciens nomment aussi *balance hydrostatique* les instrumens décrits plus bas sous le nom d'*aréomètres*.

§ 2. *Trouver le volume d'un corps solide.* On le pèse d'abord dans l'air avec la balance hydrostatique à laquelle il est attaché par un fil de crin; puis sans le détacher; on fait en sorte qu'il plonge dans l'eau; et comme il y perd une partie de son poids, il ne suffit plus pour maintenir l'équilibre; on ajoute donc sur le plateau au-dessous duquel il est suspendu, les poids nécessaires pour que cet équilibre soit rétabli. On connaît ainsi combien le corps a déplacé d'eau (pag. 125, § 9); et ces poids additionnels exprimés en grammes, et divisés par 1, donnent le volume du corps en centimètres cubiques (1).

---

(1) Le poids exprimé en grains, et divisé par 288, donne le volume du corps en pouces cubiques duodécimaux de Brandebourg (pag. 107 et 108, § 7, 1°). Si la pesée est faite en grains de Paris, il faut diviser par 373,4, parce que c'est le poids d'un pouce cubique d'eau, mesure de Paris.

§ 3. *Trouver le poids spécifique de l'eau.* Lorsque le volume du corps plongé est connu, le poids ajouté indique combien il a déplacé d'eau. C'est la méthode par laquelle on détermine ordinairement le poids spécifique de l'eau. Pour la pesée faite à Berlin, et mentionnée ci-dessus (pag. 108), le corps plongé dans l'eau, était un cube d'un pouce, fait avec beaucoup de soin. Pour celle de Paris, c'était un cylindre mesuré aussi avec la plus grande exactitude.

§ 4. *Trouver le poids spécifique d'un corps solide.* On le pèse d'abord dans l'air, puis on examine combien il perd étant pesé dans l'eau. Le premier de ces poids, divisé par le dernier, donne son poids spécifique (pag. 21, note 1); mais pour cela, le corps doit être plus pesant que l'eau, et ne point s'y dissoudre, ni s'y décomposer. Cette méthode est donc sur-tout à recommander, lorsque le corps est trop gros pour pouvoir être introduit dans un flacon (1).

§ 5. *Lorsqu'un corps est mécaniquement composé de deux substances connues, trouver, par le moyen des balances hydrostatiques, combien il contient de chacune de ces matières. Archimède*, qu'on peut considérer comme l'inventeur de l'Hydrostatique, trouva que 18 livre d'or étant pesées sous l'eau, perdaient 1 livre; 18 livres d'argent perdaient $1\frac{1}{2}$ livre; et une couronne pesant 18 livres, qui était d'argent recouvert par une épaisse feuille d'or, perdit $1\frac{1}{3}$ livre. Il conclut de là, d'après le calcul nommé *règle de société*, que la quantité d'argent était à la quantité d'or, comme les différences des trois nombres 1, $\frac{1}{3}$, $1\frac{1}{2}$, c'est-à-dire, comme $\frac{1}{3}$ est à $\frac{1}{6}$, ou comme 2 est à 1, et que, par conséquent, la couronne était composée de $\frac{1}{3}$ d'or et de $\frac{2}{3}$ d'argent. On nomme cette opération *l'épreuve de l'eau d'Archimède*. Elle ne peut être employée que lorsque deux matières sont seulement mécaniquement mélangées; quand elles le sont chimiquement, cette méthode donnerait de faux résultats (pag. 119, § 7) (2).

---

(1) On peut même, dans ce cas, se servir de la méthode de *Klaporth*, en substituant au flacon, un vase cylindrique dont les bords supérieurs soient usés à l'émeri. Lorsque ce vase est rempli d'eau, on le ferme en passant horizontalement sur son orifice une glace dépolie, laquelle exclut toute l'eau qui n'est point comprise dans sa capacité. Comme cette glace adhère naturellement sur l'orifice, on peut essuyer très-exactement le cylindre, et enlever toute l'eau qui a pu se répandre sur sa surface.

(2) Soit un corps B dont le poids est p, composé de deux matières A et C;

Des Aréomètres.

§ 6. Un vase de verre AB, de la forme représentée (*fig.* 35), peut être assez léger non seulement pour flotter sur l'eau, mais encore pour s'y soutenir en introduisant dans la boule inférieure B un poids de plomb ou de mercure. Au moyen de ce poids, le centre de gravité peut être porté assez vers le bas pour que l'instrument flotte avec stabilité dans une situation verticale (pag. 126, § 12). Or, on a vu qu'un corps flottant déplace toujours un poids de liquide égal au sien propre (pag. 125, § 9). Il est donc clair qu'un semblable instrument plongera plus profondément dans un liquide léger que dans un liquide plus lourd; et, d'après cela, on conçoit la possibilité de disposer l'instrument de manière qu'on puisse découvrir le poids spécifique du liquide, d'après la profondeur où il y plonge. Pour cet effet, on introduit dans le tube AC un papier sur lequel on a tracé une échelle qui indique immédiatement le poids spécifique. On nomme un tel instrument un *aréomètre*.

§ 7. L'emploi de l'aréomètre pour l'estimation du poids spécifique des liquides, devient assez superflu, d'après ce qui a été dit sur ce sujet, chap. XXII, pag. 114 et suiv. : mais on s'en sert ordinairement pour un but un peu différent. Par exemple, dans les liquides mélangés, comme la bière, le vin, l'eau-de-vie, les dissolutions de

---

qu'il contienne x de la première A, et par conséquent $p - x$ de la seconde : on sait que le poids p, lorsqu'il consiste seulement en matière A, perd a dans l'eau; que le poids p du corps composé, perd b, et que le poids p de la matière C, perd c. Il s'agit de trouver x. D'après ces données, on a d'abord les proportions $p : a = x : \frac{ax}{p}$, c'est-à-dire, lorsque le poids p du corps A perd a dans l'eau, le poids x perd $\frac{ax}{p}$; de même $p : c = p - x : \frac{c\,(p - x)}{p}$, c'est-à-dire, que le poids $p - x$ du corps C, perd dans l'ean $\frac{c(p - x)}{p}$. Le corps composé perd donc en tout $\frac{ax}{p} + \frac{c(p - x)}{p} = b$; d'où l'on tire très-aisément la valeur $x = \frac{p\,(b - c)}{a - c}$, et conséquemment $p - x = \frac{p\,(a - b)}{a - c}$; ces deux formules donnent $a - b : b - c = p - x : x$.

sels, etc., le poids spécifique change avec les proportions des principes constituans, et il est souvent très-important de connaître, pour les rapports scientifiques, économiques et mercantiles, combien un tel liquide contient de parties de chacun de ses principes constituans. On emploie ordinairement l'aréomètre pour cette évaluation : mais on voit facilement qu'il doit avoir une échelle et une disposition différentes pour chaque usage qu'on en veut faire. Par cette raison, on lui donne les divers noms de *pèse-liqueur* à vin, à alcool, à bière, etc., etc.

§ 8. La description d'un de ces instrumens suffira pour qu'on puisse se représenter les autres assez exactement. Nous choisissons pour cela l'aréomètre à alcool. Ce ne peut être ici le lieu de donner les détails de sa disposition la plus avantageuse ; il suffira de le décrire simplement, de manière qu'on puisse avoir une idée claire de cet instrument et de son usage. Qu'on se représente l'aréomètre plongé d'abord dans l'eau distillé, puis ensuite dans l'alcool absolu (pag. 111, § 11). Dans la première, il s'enfonce jusqu'à 0 ; dans le second, jusqu'à 100. Après cela, on fait des mélanges de 10 parties d'alcool et de 90 d'eau ; de 20 d'alcool et de 80 d'eau, etc., jusqu'à 90 d'alcool et 10 d'eau : on plonge l'instrument dans chacun de ces mélanges ; on remarque à quelle profondeur il s'enfonce, et l'on trace sur l'échelle les nombres 10, 20, 30, etc. Les intervalles de ces parties sont inégaux ; mais comme ils ne croissent qu'avec lenteur, on pourrait encore diviser chacun d'eux en 10 parties égales, et on aurait ainsi un instrument qui indiquerait immédiatement combien de parties d'alcool sont contenues dans un mélange d'eau et d'alcool.

Pour avoir des degrés plus grands, on fait ordinairement deux aréomètres à alcool, dont l'un sert environ depuis 0 jusqu'à 50 degrés, l'autre depuis 50 jusqu'à 100.

On trouve des détails plus circonstanciés sur l'aréomètre à alcool dans l'ouvrage de *Richter*, sur les nouveaux objets de Chimie, VIII, 81. (*Voyez* aussi la *Physique de Haüy*.)

§ 9. D'après ce que nous venons de dire, on peut prendre une idée de tous les autres instrumens de cette espèce. Ils indiquent de même les quantités d'un des principes constituans, par exemple, d'un sel, d'un acide, etc. ; ou seulement, comme les pèse-liqueurs à vin, à eau-de-vie, ils marquent des degrés de bonté choisis arbitrairement ; même les aréomètres de *Baumé* n'indiquent rien de plus,

puisque leurs échelles ont des parties égales, et que les deux points extrêmes sont seuls déterminés avec précision par des pesées; ce qui fait qu'au moins ces aréomètres s'accordent entre eux.

§ 10. Il y a encore une autre espèce d'aréomètres sans échelle, qu'on nomme *aréomètres à poids*, ou *de Farenheit:* ils diffèrent des précédens, en ce qu'ils n'ont qu'une seule marque qui indique la profondeur jusqu'où s'enfonce l'instrument dans le liquide le plus léger qu'on puisse avoir, et en ce qu'on adapte au-dessus du tube un petit plateau pour y poser des poids. Dans les fluides où il ne s'enfonce pas jusqu'à la marque indiquée, on le force à prendre cette situation en ajoutant des poids dans le plateau. Cet appareil très-simple donne un moyen assez commode pour comparer le poids spécifiques des liquides. On pèse d'abord l'instrument lui-même : supposons qu'il pèse 460 grains. Ensuite on le plonge dans l'eau distillée, jusqu'à ce qu'au moyen de poids ajoutés, il s'enfonce jusqu'à la marque : supposons qu'il faille pour cela 104 grains; on sait qu'alors l'instrument déplace $460g+104g$ ou 564 grains d'eau. Si l'on trouve qu'il faut ajouter 160 grains pour un autre liquide, on sait que l'instrument déplace $460g+160g=620$ grains de ce liquide : 620 grains de ce liquide remplissent donc le même espace que 564 d'eau, et par conséquent, son poids spécifique est $=\frac{620}{564}=1{,}099$ (1).

Nicholson a fait dernièrement un changement ingénieux à cet aréomètre, et l'a rendu ainsi un instrument très-convenable pour l'estimation exacte du poids spécifique des corps solides. On trouve dans le *Journal de Physique* de *Gren*, V, 502, une description de l'aréomètre de *Nicholson* (2).

---

(1) Supposons que l'instrument pèse deux grammes : on le plonge dans l'eau, et on met dans le plateau autant de poids qu'il est nécessaire pour qu'il s'enfonce jusqu'à la marque. Nous supposons qu'il faudrait ajouter pour cela 0,50 grammes : on sait alors que le volume d'eau déplacé par l'instrument, pèse 2 grammes + 0,50 grammes ou 2,50 grammes. S'il faut ajouter 1 gramme dans un autre liquide, pour que l'instrument plonge jusqu'à la même marque, on sait qu'il déplace $2+1$ grammes $=3$ grammes. Trois grammes de ce liquide remplissent donc le même espace que 2,50 d'eau, par conséquent son poids spécifique $=\frac{3}{2{,}50}=1{,}2$.

(2) M. *Renard*, de Berlin, a très-bien exécuté cet instrument, et y a adapté un perfectionnement qui le rend susceptible d'être employé pour les corps plus légers que l'eau.

§ 11. Pour l'usage de tous ces instrumens, on ne doit pas négliger de faire attention à la température, ainsi que nous l'avons dit (pag. 120, § 8).

On trouvera dans des ouvrages plus étendus des notions plus complètes de ces instrumens. Ainsi, *voyez* les articles *Areometer* et *Hydrostatische Wage* dans les *Dictionnaires de Physique* de *Gehler* et de *Fischer;* le *Journal de Physique* de *Gren,* VII, 186; le nouveau *Journal de Physique* de *Gren,* III, 117, et l'ouvrage de *Richter*, sur les nouveaux objets de chimie (*).

CHAPITRE XXV.

Influence de l'adhésion et de la cohésion sur les Phénomènes hydrostatiques.

§ 1. Si l'on suspend horizontalement des plaques de verre, de marbre, de métal, etc., à une balance hydrostatique, et après les avoir mises en équilibre avec des poids, si on les fait toucher à la surface d'un liquide, on voit qu'elles ne peuvent être séparées de ce liquide, qu'en ajoutant de nouveaux poids. Le corps solide s'attache donc au liquide, ce qui est inconstestablement l'effet d'une affinité qui s'exerce entre eux. Mais il suit aussi de cette expérience, que les parties du liquide adhèrent entre elles avec une certaine force, puisque autrement le corps solide devrait toujours enlever une partie du liquide, et que, pour effectuer la séparation, il faudrait justement prendre pour contre-poids ce que pèse le liquide enlevé. Mais le résultat de l'expérience est tout-à-fait différent. Le verre, le marbre, le bois, enlèvent effectivement une portion de l'eau, de l'alcool et de la plupart des liquides avec lesquels on les met en contact, c'est-à-dire, qu'ils en sont mouillés; mais le poids de ces parties du liquide, est beaucoup plus faible que ce qui est nécessaire pour la séparation. Le mercure même ne mouille point du tout ces corps, et cependant il

---

(*) On peut encore consulter l'article *Aréomètre* du *Dictionnaire technologique des Arts et Métiers.*

faut un poids considérable pour les détacher de sa surface, etc. (*Voyez Gehler* et *Fischer*, article *Adhésion.*)

§ 2. On déduit de l'universalité de ce phénomène, qu'il existe une attraction réciproque ou une affinité entre tous les corps solides et liquides, (pag. 12, § 12; pag 25 etc., §§ 3, 4, 5). De même la propriété que possèdent les particules de chaque liquide, d'adhérer entre elles avec une certaine force, est la conséquence d'une cohésion intérieure, ou seulement d'une pression extérieure (pag. 113, § 14). Nous nommerons ce phénomène *attraction*, mais sans désigner par ce mot rien autre chose que le fait lui-même.

ADDITION.

§ 3. « Dans ce que nous avons dit jusqu'à présent sur les conditions générales de l'équilibre des liquides, nous n'avons eu égard qu'à la pesanteur ; mais les forces attractives dont nous venons de parler, apportent dans ces phénomènes des modifications qu'il est nécessaire de faire connaître, au moins par les résultats. Si dans une eau tranquille et dont la surface est horizontale, on plonge verticalement un tube de verre très-étroit, et qu'on nomme pour cette raison *capillaire,* l'eau s'élance aussitôt dans l'intérieur du tube et s'y maintient au-dessus de son niveau : cet excès d'élévation est d'autant plus grand que le diamètre du tube est moindre : voilà ce que donne l'expérience : c'est l'effet le plus simple de la *capillarité.* On ne saurait supposer que ce phénomène soit dû à l'action de l'air, car il a également lieu sous le récipient de la Machine Pneumatique (chapitre XXIX, § 9). On est donc forcé de le regarder comme le résultat d'une force attractive soit de l'eau, soit du verre, ou même de ces deux corps : telle a été l'idée de *Newton* qui n'a pas dit en quoi cette attraction consistait, ni comment elle s'exerçait; *Clairaut* a été depuis le seul géomètre qui se soit occupé de ce problême (*Théor. de la Figure de la Terre*, pag. 105 et suiv.) : mais sa théorie qui décèle une grande sagacité, ne résout la question que d'une manière incomplète : il était réservé à l'illustre auteur de *la Mécanique céleste* (Théor. de l'Action capillaire, ou Supp. au 10e liv.), d'en donner une solution qui satisfasse à toutes les observations. Comme nous ne nous proposons pas d'entrer dans l'exposition raisonnée de cette savante analyse, nous nous bornerons à relater une expérience qui est comme la base de la belle théorie de M. *Laplace :* le liquide monte toujours à la même hauteur dans un tube capillaire de même matière et de même diamètre, soit qu'on le choisisse mince ou épais, en sorte que les couches de verre qui sont à une distance sensible de la surface intérieure, ne produisent absolument aucun effet appréciable. Cette expérience qui est bien certaine, montre donc que la force attractive du verre, ou, en général, de la matière du tube, décroît très-rapidement à mesure que la distance augmente, en sorte qu'elle n'a d'effet sen-

sible que très-près du contact, et que son action est comme nulle, dès que les molécules ne sont plus à une distance infiniment petite. En cela, ce genre de force est tout-à-fait semblable à ce que les chimistes nomment affinité, et qui produit ici une action tout-à-fait analogue à celle des corps sur la lumière, comme on le verra, lorsque nous parlerons de *la réfraction*. Passons aux faits d'expériences : 1° Lorsqu'on plonge dans un liquide un corps susceptible de se mouiller, par exemple, une lame *ab* de verre dans l'eau, ou une lame d'or ou d'argent dans le mercure (*fig.* 36) : ce liquide s'élève au-dessus de son niveau, en décrivant de part et d'autre une courbe concave vers l'air. 2° Lorsque le corps *ab* plongé, n'est pas susceptible d'être mouillé par le liquide, celui ci s'abaisse autour de lui, en décrivant une courbe convexe vers l'air (*fig.* 37) ; c'est ce qui a lieu, lorsqu'on plonge une lame de verre dans le mercure, ou une lame de verre enduite d'une légère couche de graisse dans l'eau. 3° En plongeant dans l'eau une lame d'acier poli, le liquide conserve sensiblement son niveau : la même chose arrive si l'on plonge dans du mercure bien privé d'humidité, une lame de verre bien desséchée. 4° Si on plonge dans l'eau deux lames de verre *ab* et *a'b'* parallèles, et assez rapprochées pour que les branches des courbes puissent se joindre, il se forme entre les deux lames une surface concave vers l'air, et l'eau s'élève entre elles, au-dessus du niveau de l'eau extérieure, et d'autant plus que les deux lames sont plus rapprochées (*fig.* 38). 5° Si l'on plonge ces deux lames dans le mercure, il se forme entre elles une surface convexe vers l'air, et le métal se tient à l'intérieur au-dessous du niveau extérieur (*fig.* 39). 6° Si l'on substitue un tube aux lames de verre, l'eau s'élève dans son intérieur, au-dessus du niveau, d'une quantité d'autant plus grande que le tube est plus étroit ; au contraire, le mercure s'abaisse au-dessous du niveau. En observant avec attention le mouvement de la colonne d'eau dans le tube capillaire, on s'apperçoit que la concavité n'a pas constamment la même courbure, et, en général, que plus cette courbure est concave, plus est grande la hauteur de l'eau au-dessus du niveau naturel : d'où l'on peut conclure qu'il existe un certain rapport entre ces deux élémens. Si l'on emploie un tube de verre dont le diamètre est de 0,508 millimètres, l'eau s'élève au-dessus du niveau à 25,4 millimètres : en employant un tube dont le diamètre est de 2 millimètres, on a une élévation d'environ 6,75 millimètres ; ces résultats donnent, à-peu-près, le rapport inverse entre les élévations du liquide et les diamètres des tubes. Avec un autre tube dont le diamètre est de 1,33 millimètre, l'élévation a été d'environ 10 millimètres. Quant au mercure et en employant les mêmes tubes, on a trouvé que dans celui de deux millimètres de diamètre, le mercure s'est abaissé de 3,66 millimètres au-dessous de son niveau, et que dans le tube de 1,33 millimètre, l'abaissement a été de 5,5 millimètres. On a encore soumis à l'expérience deux tubes emboités l'un dans l'autre, et dont les axes coïncident ; le diamètre intérieur du plus large, était de 8 millimètres, et le diamètre extérieur du plus

étroit de 5,5 millimètres, ce qui donne 1,25 millimètre pour la distance entre l'un et l'autre ; l'eau s'est élevée un peu au-dessus de 5 millimètres dans l'intervalle entre la paroi extérieure du tube intérieur et la paroi intérieure du tube extérieur. Deux autres tubes avaient l'un son diamètre intérieur de 5 millimètres, l'autre son diamètre extérieur de 3 millimètres, ce qui donne un millimètre de distance ; l'élévation de l'eau a été un peu moindre que 7 millimètres. Ces résultats s'accordent à peu-près avec ceux qu'on obtiendrait, en employant des tubes simples dont les diamètres seraient les distances entre les deux tubes. On a aussi examiné ce qui se passe dans des tubes coniques, ou dans le mouvement des liquides entre deux lames inclinées sous un petit angle ; mais nous ne rapporterons pas les résultats de ces observations. Tels sont les phénomènes que présentent les *Tubes capillaires*. Tant que le tube aura un diamètre d'une certaine étendue, la concavité ne sera sensible qu'auprès de ses parois, ensorte que l'eau paraîtra encore de niveau dans toute la partie moyenne de la surface circonscrite par le tube : à mesure qu'on prendra des tubes plus étroits, la concavité s'infléchira davantage, et il y aura un terme où le point qui répond à l'axe du tube, commencera à dépasser visiblement le niveau, et enfin, si le tube cylindrique est très-délié, le liquide, au moment de l'immersion, s'y élancera, et restera suspendu à une hauteur sensible au-dessus du niveau extérieur : quant au mercure, son abaissement au-dessous du niveau, suit le même rapport. Dans les tubes capillaires, la surface supérieure du liquide, approche de celle d'un segment sphérique. 7° Diverses observations prouvent que l'abaissement du mercure au-dessous du niveau, dans un tube capillaire, est l'effet d'une légère couche d'humidité qui tapisse la surface intérieure du tube. *Casbois,* professeur de physique, à Metz, est parvenu, en desséchant le mercure et le verre, à former un syphon dont une des branches était capillaire et l'autre avait un diamètre d'une certaine étendue, et dans lequel le mercure s'élevait de deux ou trois lignes plus haut dans la branche capillaire que dans l'autre. MM. *Laplace* et *Lavoisier* ayant soumis du mercure à une longue ébullition, ont fait disparaître la convexité qui termine ordinairement la colonne de ce métal ; et ils rétablissaient l'effet de la capillarité, en introduisant une goutte d'eau dans le tube. 8° Qu'on prenne un tube capillaire recourbé (*fig.* 40), et qu'on y introduise de l'eau, on verra le liquide se mettre de niveau dans les deux branches, et de part et d'autre le liquide sera terminé par une surface concave vers le haut : mais qu'on enduise une des branches d'une légère couche de graisse, on verra le liquide se terminer dans cette branche par une surface convexe, et dans l'autre par une surface concave, et, dans cette dernière, le liquide sera plus élevé que dans l'autre. 9° Si l'on construit un syphon renversé dont l'une des branches soit large et l'autre capillaire, en y versant de l'eau, ce liquide se tiendra plus haut dans le tube capillaire que dans le tube large : si l'on y verse du mercure, celui-ci se tiendra au contraire plus bas dans le tube capillaire que dans le tube large. 10° Si deux

corps flottans sur un liquide, sont susceptibles ou non d'être mouillés, dans le premier cas, il se fait autour d'eux un abaissement ou une dépression du liquide, et dans le second, une élévation (*fig.* 41 et 42) : si l'on rapproche les corps de manière que la distance qui les sépare, devienne assez petite, on les voit se porter l'un vers l'autre et s'unir. Si l'un des globules est susceptible d'être mouillé et que l'autre globule ne le soit pas, ce qui arrive, si, par exemple, l'un est de liège et l'autre de cire, le liquide s'élèvera autour du premier, et il formera un enfoncement autour du second, et si on les rapproche de manière à ce que leur distance devienne fort petite, ils se repousseront. On peut aux globules substituer deux aiguilles que l'on posera doucement sur l'eau, où elles flotteront par l'effet de la petite couche d'air qui recouvre leur surface, comme cela a lieu en général, pour tous les corps. Si l'on fait avancer l'une des aiguilles vers l'autre, dans une direction oblique, jusqu'à ce que les extrémités se touchent, elles s'inclineront l'une sur l'autre, de manière que l'angle qu'elles formaient au moment du contact, diminuera peu-à-peu, et elles finiront par adhérer entre elles dans toute leur longueur. On peut varier cette expérience, en mettant l'extrémité de l'une des aiguilles en contact avec un point quelconque de l'autre, sous un petit angle; elles finiront encore par se porter l'une vers l'autre, jusqu'à se juxtaposer. 11° L'action capillaire explique parfaitement comment un morceau de sucre en partie plongé dans l'eau, s'en pénètre promptement dans toute sa hauteur; comment une muraille dont le pied est baigné dans l'eau, devient humide à une grande élévation; comment une goutte d'huile s'étend aussi loin dans le tissu d'une étoffe, ou dans une feuille de papier; comment les corps gras liquides ou fondus par la chaleur, s'élèvent dans les mèches de coton; comment un vase en partie plein d'eau, se vide complétement et goutte à goutte, si l'on place sur le bord une mèche de coton qui plonge dans l'intérieur et descend en dehors plus bas que le fond du vase. 12° Les effets de la capillarité peuvent expliquer jusqu'à un certain point l'ascension des liquides dans les végétaux vivans. L'économie animale doit présenter des effets de capillarité d'autant plus marqués que les vaisseaux qui la composent, sont d'une très-grande ténuité. Quant aux faits que nous venons de relater, on en trouvera l'explication déduite de la belle théorie de M. *Laplace*, dans les *Traités de Physique* de MM. *Haüy*, *Biot* et *Pelletan*. »

CHAPITRE XXVI.

Des mouvemens des Liquides, ou premiers principes de l'Hydraulique.

§ 1. Il y a beaucoup de mouvemens de l'eau dont la considération est d'un grand intérêt pour les hommes qui réfléchissent, parce que leurs effets sont très-importans pour les besoins de la vie sociale : ces mouvemens sont ou naturels ou artificiels. Les sources, les ruisseaux, les torrens, la pluie, toutes les agitations des mers, particulièrement le flux et le reflux, ainsi que les courans continuels et variables, offrent des exemples de la première espèce de ces mouvemens. Parmi les mouvemens artificiels, on doit sur-tout distinguer les mouvemens de l'eau dans les canaux et dans les ingénieuses machines hydrauliques dont l'usage est pour nous d'une si grande utilité. Par rapport à ces divers mouvemens, la Physique mécanique doit établir et confirmer les principes d'après lesquels ils s'opèrent. Mais quant à leur application, la partie qui est relative aux mouvemens naturels, appartient à la Géographie physique, et la partie qui se rapporte aux mouvemens artificiels, appartient à la science des machines.

§ 2. Des masses détachées de liquides suivent absolument les lois de la mécanique des corps solides, lorsque toutes leurs parties se meuvent avec une égale vitesse et dans une même direction. Ainsi, le mouvement d'une goutte d'eau qui tombe avec les conditions que nous venons d'assigner, est absolument le même que celui qu'aurait une masse solide dans des circonstances semblables. Mais la mobilité essentielle de toutes les particules d'un liquide, les unes par rapport aux autres, rend presque impossible qu'elles aient des mouvemens dirigés suivant une même direction et avec une vitesse égale. Il se produit des mouvemens intérieurs qui sont difficiles à observer, encore plus difficiles à calculer, et qui embarrassent la théorie. Les expériences hydrauliques ont aussi en elles-mêmes une difficulté propre qui vient de ce qu'on peut encore moins soustraire les mouvemens des liquides que ceux des corps solides, à l'influence des forces étran-

gères, et qu'on ne peut, qu'avec beaucoup de peine, déterminer exactement par le calcul quel doit être l'effet de chacune de ces forces.

§ 3. Le principal problème que l'Hydraulique ait à résoudre, est relatif à la vitesse avec laquelle s'écoule un liquide par une ouverture faite dans le fond ou aux parois latérales d'un vase. Soient ABCD, (*fig.* 43), et EFGH, (*fig.* 44), deux vases de hauteurs différentes AC et EG, qu'on suppose remplis d'un certain liquide, et devant toujours rester plein par une affluence continuelle. Dans le fond CD et GH de tous deux, se trouvent des ouvertures de mêmes dimensions IK et LM, mais qui sont très-petites relativement à l'étendue des vases. Si l'on suppose alors que le liquide soit sollicité par sa seule pesanteur, on peut trouver très-facilement, par les lois générales du mouvement, *les rapports des vitesses* que doivent avoir les masses d'eau qui s'écoulent par les deux ouvertures.

Car, en supposant, comme nous l'avons fait, que la hauteur du liquide demeure invariable dans les deux vases, il est clair que l'écoulement hors de chacun des vases, se fera avec une vitesse uniforme : les masses qui s'écoulent en des temps égaux, sont donc comme la vitesse, quels que soient ces temps. Puisqu'en général la quantité de chaque mouvement, se mesure par le produit de la masse et de la vitesse (pag. 18, § 5) et qu'ici les masses sont proportionnelles aux vitesses, il est clair que la quantité de mouvement produit en un temps quelconque, est comme le carré de la vitesse. Mais le rapport des quantités de mouvement, est aussi le rapport des forces motrices (pag. 19, § 6) : ces forces motrices sont, dans le cas que nous examinons, les poids des deux colonnes de liquide qui se trouvent verticalement au-dessus des deux ouvertures; puisque leurs bases sont équivalentes, ces colonnes sont comme leur hauteur AC et EG; le carré de la vitesse en IK, doit donc être au carré de la vitesse LM, comme AC est à EG, c'est-à-dire,

Les vitesses sont comme les racines carrées des hauteurs de pression.

Ceci est le principe le plus essentiel de l'Hydraulique.

§ 4. On peut démontrer aussi par les lois du mouvement accéléré, que

La vitsse absolue d'un liquide qui s'écoule par la seule force de la pesanteur, est aussi grande que la vitesse d'un corps qui tomberait de-

puis la surface supérieure du liquide jusqu'à l'ouverture d'écoulement (1).

§ 5. Un changement dans la grandeur de l'ouverture, ne peut pas changer cette vitesse ; car si l'on double la largeur de l'ouverture, le poids de la colonne qui presse, sera aussi doublé à la vérité, mais en même temps la masse à mouvoir sera doublée aussi.

Il suit de là que le rapport de la largeur de l'ouverture, relativement à l'étendue du vase, n'a aucune influence immédiate sur cette vitesse ; car si l'ouverture était de la grandeur de tout le fond, la couche inférieure CD devrait tomber, dans l'instant où le fond serait ouvert, avec l'accélération déterminée dans l'article précédent ; mais si le vase doit rester plein, la vitesse de l'eau affluente sera une nouvelle force motrice à laquelle nous n'avons pas eu égard dans le principe fondamental. C'est pour cette raison que nous avons supposé l'ouverture extrêmment petite, par rapport à l'étendue du vase, afin d'atténuer l'effet de cette force étrangère.

---

(1) Pour démontrer l'exactitude de cette loi, on doit observer que la vitesse totale du liquide qui s'écoule, ainsi que toutes les autres vitesses qui sont causées par des pressions, ne se produit pas instantanément, mais en suivant une *accélération* qui commence par zéro. Cette accélération est uniforme dans le cas que nous examinons, puisque nous avons supposé la hauteur de pression invariable. Notre question doit donc être résolue par les lois du mouvement uniformément accéléré (pag. 36 et 35, not. 2, § 5). Maintenant soient PQKI (*fig.* 43) la colonne qui presse ; NOKI une petite partie de cette colonne prise arbitrairement : si la masse NOKI tombait par son propre poids, elle aurait, après avoir parcouru le chemin NI, une vitesse $v = \sqrt{4g. \times \mathrm{NI}}$ (pag. 38, note du § 5). Mais ici la vitesse que nous appellerons x, doit être plus grande, puisque son accélération est produite par le poids de toute la colonne PQKI. L'accélération de la chute libre dont la mesure est g (p. 38, note), doit donc être à l'accélération, dans notre cas, comme le poids de NOKI est au poids de PQKI. L'accélération cherchée est donc une quatrième proportionnelle à NI, PI, et g ; c'est-à-dire qu'elle est $= \frac{g.\mathrm{PI}}{\mathrm{NI}}$; donc pour trouver x, nous devons seulement substituer cette valeur à la place de g, dans la formule ci-dessus qui devient

$$x = \sqrt{4g.\frac{\mathrm{PI}}{\mathrm{NI}} \times \mathrm{NI}} = \sqrt{4g. \times \mathrm{PI}}.$$

On voit de suite que cette vitesse est la même qu'aurait un corps tombant en chute libre, après avoir parcouru l'espace PI ou AC.

§ 6. Le poids spécifique du fluide ne peut non plus changer rien à ces lois. Si deux vases contiennent une hauteur égale, l'un de mercure, l'autre d'eau, la pression du mercure, pour des ouvertures égales, sera quatorze fois plus forte à la vérité; mais la masse étant autant de fois plus difficile à mouvoir, la vitesse ne peut pas être différente.

§ 7. Si le vase n'est pas percé à son fond, mais sur ses parois latérales, comme EF (*fig.* 45), les particules d'eau ne s'écoulent pas avec une accélération égale par tous les points de l'ouverture. Cependant, si l'ouverture est petite, et que G en soit le milieu, on peut admettre sans erreur sensible que la vitesse moyenne du liquide qui s'écoule, appartient à la hauteur de chute B G. Cette vitesse finale serait capable de lui faire parcourir dans le même temps un espace double. (Notes citées.)

§ 8. Si l'ouverture se trouve placée dans un plan horizontal tourné vers le haut, comme GH (*fig.* 46), le liquide jaillit au-dehors; mais la vitesse primitive de chaque particule, reste parfaitement conforme à nos principes.

Sur les Expériences hydrauliques qui peuvent confirmer la théorie précédente.

§ 9. On se sert ordinairement, pour ces expériences, de vases prismatiques ou cylindriques; plus ils sont grands, et plus ils sont convenables. Les expériences sont faites le plus souvent avec de l'eau. Le fond et les parois des vases ont des ouvertures de différentes formes et de diverses grandeurs; et l'on a aussi des tubes cylindriques et coniques de toutes dimensions, qu'on peut assujétir aux ouvertures. On conserve les vases pleins durant les expériences, en y faisant affluer de l'eau continuellement; ou bien, on fait l'ouverture si petite, comparativement à l'étendue du vase, que, pour un écoulement qui dure quelques secondes, la surface de l'eau ne baisse qu'imperceptiblement.

§ 10. Avec un tel appareil, on peut trouver, par expérience, la vitesse de l'eau qui s'écoule dans chaque cas. On laisse l'eau s'écouler pendant quelques secondes, dix, par exemple : le poids de l'eau écoulée, exprimé en grammes, puis divisé par un et ensuite par le nombre des secondes de temps, c'est-à-dire, par dix, donne, en cen-

timètres cubiques, le volume cubique de l'eau écoulée durant une seconde. Si l'on divise ce volume par la grandeur de l'ouverture exprimée en centimètres carrés, le quotient est la longueur de la colonne liquide écoulée par l'ouverture dans l'unité de temps, ou, ce qui revient au même, c'est la vitesse du liquide.

De l'influence des forces différentes de la Pesanteur sur les mouvemens hydrauliques.

§ 11. La théorie présentée jusqu'ici repose sur des principes si incontestables, et les preuves qu'on en a données sont si simples, qu'on peut difficilement douter de son exactitude. Cependant, si l'on compare les résultats de cette théorie avec l'expérience, il ne paraissent pas s'y rapporter entièrement. Le premier principe de l'article 2 se confirme très-bien à la vérité, puisque les vitesses de l'eau qui s'écoule de diverses hauteurs sont, dans le fait, comme les racines des hauteurs de pression, pourvu que les ouvertures d'écoulement soient de dimensions égales : mais ce qui a rapport à la vitesse absolue, n'est presque jamais conforme à la loi exprimée dans l'article 4, pag. 138. Dans la plupart des cas, cette vitesse est moindre, ce qui est facile à concevoir d'après les obstacles qu'elle rencontre. Mais il y a aussi des cas où elle est plus considérable; quelquefois même cette augmentation est de plus de moitié. En outre, pour une égale hauteur de pression, on trouve à chaque fois un changement de vitesse, lorsqu'on donne à l'ouverture une disposition différente, par exemple, lorsqu'on la forme alternativement avec un simple trou percé dans une plaque mince, ou qu'on y adapte des tubes plus longs ou plus courts, cylindriques ou coniques, et, dans ce dernier cas, évasés à l'intérieur ou à l'extérieur. Jusqu'à présent, on n'a pas pu ramener ces différences à des principes simples. Cependant ces expériences mêmes démontrent que les écarts ne sont pas causés par la pesanteur, mais dépendent entièrement de circonstances et de forces étrangères : elles ne prouvent donc rien contre la théorie exposée; mais seulement que l'on n'est pas encore parvenu à soumettre l'influence de ces forces étrangères à des lois mathématiques.

§ 12. Les forces et les circonstances qui modifient la vitesse primitive d'un liquide soumis dans l'origine à la pesanteur, peuvent être comprises dans ce qui suit :

1.° L'eau qui s'écoule, doit vaincre la résistance de l'air, ce qui diminue la vitesse.

2.° Les mouvemens qui se passent à l'intérieur de chaque liquide qui s'écoule, sont une cause très-importante de modifications : ces mouvemens sont difficiles à observer, et encore plus difficiles à soumettre à des lois exactes. Lorsqu'un jet d'eau sort par l'ouverture EF (*fig.* 47), hors du vase ABCD, ce n'est pas seulement la colonne d'eau perpendiculaire au-dessus de EF, qui tombe; mais toute l'eau du vase, s'il n'est pas extrêmement grand, a un mouvement de chute. Si ce vase est de verre, et qu'on ait répandu dans l'eau de petits corps légers, de la cire à cacheter pilée, par exemple, on peut observer ce mouvement. Dans le haut, toute la masse du liquide tombe assez uniformément, si le vase est d'une largeur égale (*); plus profondément, le mouvement ne demeure ni rectiligne ni uniforme; mais les particules d'eau prennent les directions à peu près telles qu'elles sont représentées par les lignes tracées dans la figure 47. L'eau afflue donc de tous les côtés vers l'ouverture; et comme ses mouvemens sont en partie opposés les uns aux autres, ils doivent produire un retard considérable dans la vitesse de l'écoulement.

Les mouvemens intérieurs doivent être encore plus variés, et la diminution de l'écoulement plus remarquable, si le vase n'a pas partout des dimensions égales, sur-tout s'il est d'une forme irrégulière, et encore plus s'il consiste en un tube recourbé plusieurs fois.

On doit faire une attention particulière à la forme que prend le jet de l'eau qui s'écoule, d'après ces mouvemens intérieurs. Si l'ouverture est simplement percée dans une plaque mince, le jet a immédiatement au-dessous d'elle, la figure d'un cône tronqué renversé EFHG (*fig.* 47), de manière cependant que les côtés EG et FH soient courbés en dedans. Les dimensions de ce cône, sont très-constantes dans les circonstances que nous avons supposées. Le plus petit diamètre du jet GH, est 0,8 du diamètre de l'ouverture EF; or, les

---

(*) Dans cette région, on peut partager par la pensée la masse liquide en une infinité de tranches horizontales infiniment minces, et considérer ces tranches comme conservant leur parallélisme à mesure qu'elles s'abaissent, de sorte que les particules qui la composent, aient sensiblement la même vitesse et la même direction dans toute l'étendue de la même tranche.

surfaces des cercles étant proportionnelles aux carrés de leurs rayons, la section de la colonne fluide est de 0,64, ou environ les deux-tiers de celle de l'orifice : au-dessous de GH la colonne fluide se dilate ; la distance qui se trouve entre GH et EF, équivaut seulement au demi-diamètre de l'ouverture EF. On nomme ce phénomène *la contraction des jets ou de la veine fluide.*

La vitesse de l'eau s'accroît très-rapidement entre EF et GH, parce qu'elle doit être en GH la moitié plus grande qu'en EF ; car, puisqu'en des temps égaux, il passe une même quantité d'eau en GH et en EF, et que ces deux sections sont comme 3 est à 2, les vitesses, dans chacune d'elles, doivent être en raison inverse, c'est-à-dire, comme 2 est à 3. Les expériences prouvent que la vitesse de l'eau en GH, approche beaucoup de la vitesse qui appartient à la hauteur de chute AC. Il semble donc que, dans le trajet EG, l'effet de toutes les forces étrangères a disparu, et que l'eau a repris alors la vitesse qu'elle devait avoir par le seul effet de la pesanteur. Ceci est une preuve très-remarquable de l'exactitude de la théorie que nous venons d'exposer (*).

3.° Enfin, l'adhésion plus ou moins énergique qui peut avoir lieu entre le vase et le liquide, et celle qui existe toujours entre les particules de ce dernier, ont sur la vitesse de l'écoulement, une influence beaucoup plus grande qu'on ne serait porté à l'imaginer.

C'est sans doute à cette influence qu'on doit attribuer les différentes vitesses qu'on observe suivant les formes différentes que l'on donne à l'orifice. Il est clair que ces adhésions sont des obstacles aux mouvemens dans la plupart des cas : et même, lorsque l'ouverture est extrêmement petite, tout le mouvement peut être anéanti par elles. Cependant il paraît que, dans certaines circonstances, ces forces ne diminuent pas le mouvement, et qu'au contraire elles l'augmentent. L'effet le plus remarquable de ce genre, a lieu lorsqu'on assujétit à l'ouverture un tube en forme de cône renversé, qui a les

---

(*) La veine liquide prend la forme d'une colonne torse, lorsque l'orifice n'a pas ses bords bien nets, ou qu'il est agité intérieurement de mouvemens différens de ceux que produit l'écoulement. Si la masse liquide est douée intérieurement d'un mouvement de rotation, il se forme au dehors, en vertu de la force centrifuge, un entonnoir opposé à celui qui se manifeste au dedans.

dimensions du jet contracté, et qu'on joint au-dessous de celui-ci un autre tube conique qui s'évase insensiblement. (Voyez *Eytelweins Handbuch der Mechan. und Hyd.*, pag. 107—126).

§ 13. Lorsque l'eau jaillit de bas en haut (*fig.* 46), il se joint encore aux obstacles que nous venons de décrire, un obstacle particulier. Chaque goutte qui s'élève, monte avec un mouvement retardé ; la vitesse est donc moindre dans les parties élevées du jet, que dans les parties inférieures : ainsi, l'eau la plus élevée exerce une pression sur celle qui est au-dessous, et retarde son mouvement. Par cette raison, le jet n'atteint jamais la hauteur à la quelle il devrait parvenir d'après la vitesse primitive de l'eau. De plus, l'eau qui s'élève est encore retardée davantage par l'eau qui retombe, et quelquefois elle est refoulée jusqu'à l'orifice d'où elle sort. Par cette raison, l'eau s'élève plus haut lorsqu'elle ne jaillit pas tout-à-fait en ligne verticale.— Quant à la disposition de l'ouverture, l'expérience a appris que la plus convenable, pour que le jet ait une grande élévation, est aussi la plus simple, c'est-à-dire, un petit trou percé dans une plaque mince.

§ 14. C'est une loi générale pour tous les cas, que lorsqu'un liquide s'écoule hors d'un vase, celui-ci subit lui-même une pression dans le sens opposé. Cette pression peut même donner au vase, s'il est suffisamment mobile, un mouvement dans une direction contraire. Cette pression subsiste encore lorsque l'ouverture EF (*fig.* 45), est fermée, et son intensité peut être estimée selon ce qui est dit p. 124 § 6. Mais, quelle que soit sa force, elle ne peut, dans ce dernier cas, produire aucun mouvement, parce que dans la paroi opposée AC, il existe toujours une partie HK dont la longueur et la largeur corrrespondent exactement à EF, et qui subit une pression égale et opposée. Mais, si EF est ouvert, et qu'il s'écoule de l'eau par cette ouverture, la pression sur HK ne trouve plus aucune contre-pression, et elle peut ainsi, lorsque le vase est suffisamment mobile, lui donner un mouvement contraire (*).

(*) On a vu que, dans le cas d'un mouvement nul, la pression en chaque point de la paroi d'un vase, est égale au poids de la colonne liquide verticale qui lui répond ; mais il n'en est plus ainsi lorsque le liquide est en mouvement. Le raisonnement et l'expérience prouvent 1° que si dans un tuyau quelconque adapté à un réservoir, et qu'on peut supposer horizontal, la colonne liquide a toute la

Sur les mouvemens des Corps solides dans les liquides.

§ 15. Un corps solide ne peut se mouvoir dans un liquide, sans mettre une certaine quantité de sa masse en mouvement; mais autant il communique de mouvement au liquide, autant il en perd lui-même, ainsi que l'apprend la théorie de la communication du mouvement, exposée chapitre XV, pag. 57 et suivantes.

On considère cette perte comme l'effet d'une force qu'oppose le liquide au corps mis en mouvement, et on la nomme *résistance du liquide.* Les efforts des plus grands mathématiciens n'ont pas suffi, jusqu'à présent, pour ramener à des lois simples et exactes la théorie de cette résistance. — Depuis *Newton*, on admettait généralement que cette résistance est proportionnelle au produit de trois facteurs, qui sont : le carré de la vitesse du corps en mouvement, l'étendue de la surface qui résiste à cette vitesse, et enfin la densité du liquide, en supposant d'ailleurs toutes les circonstances égales dans chaque cas : mais un grand nombre d'expériences faites depuis le milieu du dernier siècle, principalement en France, ont prouvé que tous ces principes sont incertains : ils ne s'accordent passablement avec l'expérience, que pour les vitesses moyennes; pour les vitesses très-grandes ou très-petites, ils s'en écartent beaucoup. Ce qui a été dit ici de la résistance d'un liquide en repos, par rapport à un corps solide, peut être aussi appliqué au choc d'un liquide en mouvement relativement à un corps solide, et de même, au cas où tous deux ont des mouvemens

---

vitesse qui doit résulter de la hauteur du niveau dans le réservoir, la paroi de ce tuyau subit une pression nulle : que si la vitesse de la colonne est plus petite, la paroi du tuyau éprouve une pression; que si elle est plus grande, la pression est *négative*. En effet, dans le premier cas, si l'on perce un petit orifice à la partie supérieure, il n'y a point de jet; si l'orifice est percé à la paroi inférieure, il pourra y avoir un petit écoulement dû au poids de la tranche. Dans le second cas qui peut résulter du seul frottement, on verra le liquide s'élancer par l'orifice sous la forme d'un jet qui s'élèvera d'autant plus que la vitesse aura été plus ralentie. Dans le troisième, l'air entre par la petite ouverture avec sifflement.

Nous regrettons que le cadre resserré de cet ouvrage, et l'abondance des matières, ne nous permettent pas de placer ici la description *du Bélier hydraulique* de *Montgolfier*.

contraires l'un par rapport à l'autre (*). Pour connaître parfaitement les recherches mathématiques faites à ce sujet, voyez *Newtoni Principia Philos. nat.; Euleri Mecanica; D. Bernouilli Hydrodynamica.* On peut en prendre aussi des notions suffisantes dans l'ouvrage de *Kastner*, sur la Mécanique et l'Hydrodynamique, et dans celui de *Kårsten*, intitulé *Lehrbegriff der gesammten Math.*, 4.e part. On en trouve une courte exposition dans *Gehler* et *Fischer*, à l'article *Widerstand der Mittel.*

§ 16. Nous allons d'abord examiner un cas particulier qui n'a aucune difficulté, c'est-à-dire, la chute et l'élévation verticales des corps solides dans l'eau.

Si un corps qui pèse 8 grammes, ne déplace que 7 grammes d'eau, il tombe au fond. Cependant, comme sa masse de 8 grammes n'est mise en mouvement que par la force d'un seul gramme, il tomberait, à la vérité, avec un mouvement uniformément accéléré, si l'eau ne faisait aucune résistance; mais son mouvement serait, ainsi que la force qui agit sur lui, huit fois plus petit que dans le vide; de plus comme l'eau lui résiste dans sa chute, son accélération sera affaiblie à chaque moment; et la résistance augmentant à-peu-près comme le carré de la vitesse, l'accélération diminuera très-promptement, et deviendra bientôt nulle. En effet, il doit arriver un instant où la résistance de l'eau enlève au corps justement autant de vitesse que la force accélératrice de la pesanteur lui en communique. A patir de cette époque, le corps tombe avec un mouvement parfaitement uniforme; ce moment arrive d'autant plutôt que la pesanteur spécifique du corps diffère moins de celle de l'eau.

Un corps léger se comporte absolument de même en s'élevant dans l'eau. Si le liquide ne faisait aucune résistance, il monterait avec un mouvement uniformément accéléré, puisque la force qui l'élève, est constante. Mais la résistance de l'eau doit produire ici justement le même effet que dans le cas exposé ci-dessus.

Dans un vase un peu élevé, on peut rendre ces deux sortes de

(*) L'auteur paraît supposer une parfaite similitude dans les effets; quoique cette similitude ne soit pas complète et que *l'Hydrodynamique* ait beaucoup à faire sous ce point de vue.

mouvemens visibles, au moyen de corps seulement un peu plus légers ou un peu plus lourds que l'eau.

§ 17. Les limites d'un ouvrage élémentaire ne permettent que d'exposer seulement les premières notions et les premiers principes de l'Hydraulique. En particulier, la description d'une quantité de machines hydrauliques anciennes et nouvelles, et très-ingénieuses pour la plupart, n'appartient point à la Physique, mais à la science des machines (1).

---

(1) Nous allons seulement donner ici une liste des ouvrages d'hydraulique les plus nouveaux, et qu'on peut considérer comme classiques dans cette partie. Tels sont : *Nouveaux Principes d'Hydraulique* de *Bernard*; *Hydrodynamique* de *Bossut*; *Langsdorff Lehrbegriff der hydraulik*, avec sa suite, 1794 et 1796; *Principes d'Hydraulique* par *Du Buat*; *Nouvelle Architecture hydraulique* de *Prony*; *Recherches expérimentales sur le Principe de la communication latérale du mouvement dans les Fluides*, par *Venturi*; Paris, 1797. Parmi les ouvrages originaux allemands, on doit sur-tout consulter celui *d'Eytelwein*, *Lerbuch der Mecanik und Hydraulik.* On trouve aussi les descriptions de plusieurs machines hydrauliques, dans la deuxième partie de l'ouvrage de *Büsch*: intitulé, *Matematik zum Nutzen und Vergnügen des burgerlichen Lebens.* Parmi les livres plus anciens, on doit sur-tout remarquer l'*Architecture Hydraulique* de *Bélidor*, ou plutôt la nouvelle édition avec des notes et additions par M. *Navier*, ingénieur au corps royal des Ponts et Chaussées de France, qui s'imprime chez *Firmin Didot*; *le grand ouvrage* de M. *Borgnies*, ayant pour titre, *Traité complet de Mécanique appliquée aux arts*; *le Traité de Mécanique industrielle* de *Christian*, Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers à Paris; *les Expériences sur la contraction de la veine fluide*, par *George Bidone*, à Turin et par M. *Hachette*; enfin un travail de M. *Girard* sur le mouvement des liquides dans les tubes capillaires, inséré dans les mémoires de l'Institut, pour 1815, tome dernier.

CINQUIÈME SECTION.

DES CORPS AÉRIFORMES.

CHAPITRE XXVII.

Des Fluides élastiques en général.

§ 1. On croyait autrefois que l'air atmosphérique était le seul fluide élastique qui existât dans la nature. La Chimie moderne nous a appris qu'il y a un grand nombre de ces fluides auxquels on donne le nom d'*air* ou de *gaz*. L'étude des gaz appartient évidemment à la Physique chimique; ainsi, nous ne donnerons sur ce sujet, que les notions indispensables au physicien mécaniste.

De l'Air atmosphérique.

§ 2. C'est principalement l'observation exacte de ce qui se passe dans la combustion, qui a fait reconnaître que l'air n'est pas une substance simple, comme on le croyait anciennement, mais qu'il est, en effet, un mélange de deux gaz, l'oxigène et l'azote, et que ce mélange est, à-peu-près, dans le rapport de 1 : 3 (1). Ce sont du moins les

(1) Plus exactement, un volume d'air atmosphérique égal à l'unité, contient 0,21 d'oxigène; le reste est un mélange encore peu connu d'azote et d'acide carbonique, peut-être aussi de quelques autres gaz. Les évaluations les plus probables donnent 0,785 d'azote, et 0,005 d'acide carbonique; en sorte que l'azote y est de beaucoup plus abondant. Il n'y a pas d'hydrogène en quantité sensible, c'est-à-dire que l'on n'en peut pas admettre plus de 2 ou 3 millièmes. Ces

principes essentiels de l'air atmosphérique; mais on se tromperait beaucoup si l'on croyait qu'il ne contient rien autre chose que ces deux substances. L'air atmosphérique a la propriété très-active, quoique non encore observée suffisamment, de dissoudre la plupart des fluides, ainsi qu'un grand nombre de corps solides, et de communiquer à des parties plus ou moins grandes de ces corps, son état élastique. Un peu d'attention sur les phénomènes qui se passent sous nos yeux chaque jour, ne laisse aucun doute sur ceci. Ainsi, chaque corps qui répand une odeur, doit être en effet dissous par l'air. Tels sont la plupart des métaux, la chaux, l'argile mouillée, etc. Mais l'air se combine aussi avec beaucoup de corps inodores; et l'eau offre une preuve frappante de ceci (1).

De plus, les observations des physiciens démontrent que toutes les espèces de gaz, particulièrement le gaz acide carbonique et l'hydrogène, se produisent naturellement par des opérations chimiques, dans l'intérieur de la terre, ou à sa surface, et que la plupart des gaz se combinent sans changer leur état d'agrégation. Il est évident, en outre, que des millions d'êtres organisés vivent et se corrompent dans l'air atmosphérique; que durant leur vie, il se fait entre eux et l'air un échange continuel d'aliment et de sécrétions dont la plupart sont à l'état aériforme, et que, pendant la décomposition de ces êtres, leurs

---

proportions de l'air atmosphérique, sont exactement les mêmes par toute la terre, au moins relativemeut à l'oxigène qu'il contient. Tels sont les résultats des travaux des chimistes sur ces objets, et principalement de MM. *Humböldt* et *Gay-Lussac*.

(1) Les raisons que l'auteur rapporte ici, ne sont peut-être pas aussi fortes qu'il le pense. Il paraît, d'après les expériences de *Saussure* et de *Dalton*, que l'évaporation de l'eau ou des autres liquides, n'exige pas, pour se produire, l'action d'une force dissolvante; car elle se fait également dans le vide, et en même quantité. Il est probable que cette évaporation est le simple effet de la force élastique que tous les liquides possèdent en vertu du calorique combiné; et l'air, par sa pression et sa présence matérielle, loin de favoriser l'évaporation, y apporte plutôt un obstacle mécanique, et la force à se faire avec plus de lenteur (chap. XXVIII). Peut-être que beaucoup d'autres phénomènes du même genre, où les corps se réduisent en vapeurs, appartiennent aussi à des causes intérieures, et non pas à la force dissolvante de l'air ou des gaz; mais il ne faudrait pas trop généraliser cette idée.

principes constituans se changent en des substances simples, et en grande partie élastiques. Ces différentes considérations pourront convaincre que l'air atmosphérique, principalement dans les régions inférieures, est une combinaison d'une infinité de fluides élastiques dont un grand nombre échappent non-seulement à nos sens, mais encore aux agens chimiques les plus délicats, à cause de leur très-petite quantité. Dans les hautes régions de l'atmosphère, l'air semble devoir être plus simple et plus pur. Cependant divers phénomènes, tels que l'aurore boréale, les étoiles tombantes, les météores, etc., que la seule combinaison des deux principes essentiels de l'air ne peut produire, prouvent l'influence d'autres matières dont nous ne soupçonnons peut-être pas l'existence dans ces hautes régions (1).

Nous traiterons, dans des chapitres particuliers, des rapports de l'air avec l'eau, et de ses propriétés mécaniques.

De l'Oxigène.

§ 3. Lorsqu'on chauffe fortement de l'oxide de manganèse, ou du salpêtre, dans une cornue exactement fermée, il se dégage, sur-tout de la première de ces matières, une quantité assez considérable d'air, qui est presque de l'oxigène pur. On trouve dans les ouvrages de Chimie, les moyens de l'obtenir à un état de pureté absolu. Cette substance dont nous devons la découverte à *Scheele* et à *Priestley*, et l'examen exact à *Lavoisier*, est d'une telle importance dans la nature, que sa connaissance est presque l'unique cause de la révolution qui s'est opérée depuis trente ans dans la Chimie. Sans oxigène, il n'y a point de vie; c'est pour cette raison qu'on le nomme aussi *air vital*. Sans lui, aucune combustion n'a lieu; *Scheele*, par cette cause, le nommait *air de feu*. Il entre dans la composition de la plupart des substances que les chimistes appellent *acides*, et pour cela

(1) M. *Gay-Lussac*, dans son voyage aérostatique, a rapporté de l'air des hautes régions de l'atmosphère, et cet air a offert absolument les mêmes principes que celui que l'on recueille à la surface de la terre : ensorte que, jusqu'ici, rien ne prouve que l'atmosphère ne soit pas partout sensiblement de la même nature ; car les phénomènes que nous ne savons pas encore expliquer, ne sont pas une preuve suffisante pour admettre l'existence de certaines substances que l'expérience directe ne nous indique pas.

Lavoisier lui a donné le nom d'*oxigène*, c'est-à-dire, générateur des acides. La dénomination d'*air déphlogistiqué*, qu'on employait avant *Lavoisier*, était relative à une fausse théorie, et doit être absolument abandonnée. L'oxigène se combine non-seulement avec les substances organiques inflammables, et avec la plupart des matières salines, mais encore avec beaucoup de corps, entre autres avec les métaux. Par cette combinaison, il enlève à ces derniers leurs propriétés métalliques, et les change en substances terreuses ou vitreuses de diverses couleurs, que l'on nomme *oxides métalliques, terres métalliques, chaux métalliques*. L'oxide de manganèse dont nous avons déjà parlé, et les substances si connues sous le nom de *rouille*, de *vert-de-gris*, de *blanc de plomb* et d'*étain*, d'*arsenic blanc*, etc., appartiennent à cette classe. Quoique l'oxigène soit une des parties principales de l'eau, puisqu'il compose 0,88 de sa masse, l'eau ne prend par absorption que peu d'oxigène (1).

On a imaginé des instrumens appelés *eudiomètres*, pour déterminer ce que l'air atmosphérique contient d'oxigène; et l'on a prouvé que cette quantité est constante. La construction ainsi que l'usage de ces instrumens, appartiennent entièrement à la Chimie.

De l'Azote.

§ 4. Lorsqu'on brûle une quantité suffisante de phosphore au milieu d'un certain volume d'air atmosphérique exactement renfermé, un quart environ de ce volume disparaît, et ce qui reste est de l'*azote*, substance gazeuse, non respirable, et dans laquelle aucune inflammation ne peut avoir lieu. Quoique l'azote ne paraisse pas entrer dans des combinaisons aussi variées que l'oxigène, c'est pourtant une matière d'une extrême importance, puisqu'on a trouvé qu'elle est un des principes constituans de tous les corps organiques vivans: quelques physiciens allemands la nomment *Salpeterstoff* (matière de salpêtre), parce qu'étant combinée dans de certains rapports avec l'oxigène,

---

(1) Ceci est généralement vrai : mais, en présentant l'oxigène à l'eau, au moment où il se dégage de certaines combinaisons, M. *Thenard* est parvenu à lui faire absorber plus de 200 fois son volume de ce gaz, avec un degré de combinaison assez intime pour que la suppression même de la pression atmosphérique, ne puisse plus en déterminer le dégagement.

elle produit l'acide nitrique; et en combinant cet acide avec la potasse, on obtient le salpêtre. L'ancienne dénomination d'*air déphlogistiqué*, doit être rejetée entièrement. Il faut chercher dans les ouvrages de Chimie, des détails plus circonstanciés sur les différentes manières de considérer cette substance, et sur ses propriétés dont une grande partie a encore besoin de beaucoup d'éclaircissemens (1).

De l'Hydrogène.

§ 5. Depuis l'invention des aérostats, on connaît généralement sous le nom d'*air inflammable*, cette espèce de gaz qui, dans l'état pur, est douze à treize fois moins pesant que l'air atmosphérique, à force élastique égale. Les chimistes anciens le nommaient *esprit inflammable* (2); mais ils avaient négligé d'examiner sa nature avec attention : il est irrespirable : aucune combustion ne peut s'y opérer, quoiqu'il devienne lui-même combustible, quand il se combine avec l'oxigène. Lorsqu'on mêle deux parties de ce gaz, mesurées d'après le volume, et non d'après le poids, avec une partie d'oxigène ou quatre d'air atmosphérique, on obtient ce qu'on nomme le *gaz tonnant*. Nous avons vu ci-dessus (pag. 11, § 9), que l'inflammation du gaz tonnant, produit de l'eau. A cause de cette propriété, *Lavoisier* donna à cette substance le nom d'*hydrogène*. Une masse d'eau est composée de 0,88 d'oxigène, en poids, et de 0,12 d'hydrogène. Ce gaz n'a que peu d'affinité pour l'eau. On l'obtient à l'état pur, en faisant passer de lá vapeur d'eau à travers un tube de fer rougi; l'oxigène de l'eau se combine avec le fer, et l'hydrogène passe. On

(1) Il est remarquable que l'on n'a presque, pour reconnaître l'azote, que des caractères négatifs, c'est-à-dire qu'on sait qu'il ne produit pas tel ou tel effet; mais on n'a point de phénomène facilement observable qui lui soit propre, et qui puisse servir à le ditinguer directement. Le seul caractère de ce genre, est celui que M. *Cavendish* a fait connaître, et qui consiste dans la faculté qu'a l'azote de former de l'acide nitrique, quand on le combine avec l'oxigène, par le moyen de l'étincelle électrique; mais cette opération est si difficile, qu'on ne peut l'employer habituellement; en sorte que s'il existait dans l'azote, comme cela est possible, plusieurs substances distinctes qui s'accordassent dans leurs propriétés négatives, on pourrait les confondre facilement.

(2) En allemand, *brennbarer Geist*. L'auteur remarque que le mot *gaz* dérive peut-être de cette dénomination.

l'obtient encore plus aisément en dissolvant du fer ou du zinc dans l'acide muriatique ou dans l'acide sulfurique étendu d'eau; alors l'eau est décomposée; un de ses principes, l'oxigène, se combine avec le métal, et l'autre, savoir l'hydrogène, se dégage.

Du Gaz acide carbonique.

§ 6. On nomma d'abord ce gaz *air fixe*, parce qu'on le reconnut primitivement comme un principe constituant de plusieurs corps solides. C'est sur-tout une partie essentielle des chaux brutes dont il forme à-peu-près la moitié du poids. Le spath calcaire, le marbre, la pierre à chaux, la craie, etc., sont dans ce cas. Ce gaz se dégage de ces substances, lorsqu'on verse sur elles quelques acides, particulièrement de l'acide sulfurique étendu d'eau. On a découvert depuis, que cet air est le même que celui qui est produit par l'inflammation du charbon, et qui a toutes les propriétés d'un acide; ce qui fait qu'on le nomme *acide carbonique*. Il sort en grande quantité de l'intérieur de la terre, dans beaucoup de contrées, et particulièrement dans les pays volcaniques. Comme il est plus lourd que l'air atmosphérique, et qu'il ne s'y mêle que lentement, il forme en quelques endroits une couche d'air de quelques pieds de hauteur, dans laquelle aucun animal ne peut vivre, parce qu'elle est absolument irrespirable. La grotte du Chien, près de Naples, offre un exemple de ce phénomène. En mêlant et agitant ce gaz avec de l'eau, elle peut en prendre, en combinaison, un volume à-peu-près égal au sien : et de même ce gaz peut tenir aussi une quantité considérable d'eau en dissolution (1). Il communique à l'eau un goût agréable, restaurant et acide; et, en s'y combinant dans diverses proportions, il est le principe essentiel de toutes les eaux minérales. L'eau de chaux qu'on fait en dissolvant dans l'eau de la chaux vive ou de la terre calcaire, donne un moyen commode de découvrir la présence de ce gaz dans un liquide; car, lorsqu'on verse un peu d'un tel liquide dans l'eau de chaux, celle-ci devient trouble, parce que l'acide carbonique se combine avec la chaux, et que cette combinaison est insoluble dans l'eau.

---

(1) Depuis que M. *Fischer* a écrit ceci, les expériences de *Dalton*, confirmées par tous les physiciens, ont prouvé qu'il ne s'élève pas plus d'eau en vapeur dans un volume donné d'acide carbonique, que dans un même volume de tout autre gaz.

§ 7. Les chimistes connaissent encore une grande quantité d'autres gaz; de temps en temps même on en découvre de nouveaux; mais, comme ils sont le plus souvent employés pour leurs propriétés chimiques seules, leur importance est moindre pour le physicien mécaniste que ceux que nous avons nommés. Toutes ces substances sont des gaz *permanens*, c'est-à-dire, qui demeurent aériformes sous toutes les températures connues. La pesanteur et l'élasticité sont leurs propriétés mécaniques communes, et elles ne diffèrent pour chacun d'eux que par des différences d'intensité.

Des Vapeurs élastiques.

§ 8. Nous avons déjà vu dans la section de la Chaleur, que les liquides peuvent passer à l'état élastique, soit par l'action de la chaleur, soit par celle des forces dissolvantes des autres gaz. Tant qu'ils se trouvent à cet état, leurs propriétés mécaniques ne diffèrent pas essentiellement de celles des gaz permanens, et ils sont soumis aux mêmes lois d'équilibre et de mouvement que ceux-ci, peut-être même la différence qui existe entre les vapeurs et les gaz, est-elle aussi peu essentielle que celle qui se trouve entre le mercure liquide et les métaux solides.

ADDITION.

MM. *Biot* et *Arago* ont déterminé avec beaucoup de soin les pesanteurs spécifiques des gaz suivans, à la température 0° du thermomètre centigrade :

NOMS DES GAZ.	POIDS SPÉCIFIQUES.
Air atmosphérique	1,00000
Gaz acide carbonique	1,51961
Gaz oxigène	1,10359
Gaz azote	0,96913
Gaz ammoniaque	0,59669
Gaz hydrogène	0,07321

A la température de 100°, la pesanteur spécifique de la vapeur aqueuse, est de 0,51921. Le décimètre cube d'air à la pression $0^{m},76$ et à la température de la glace fondante, ou à 0°, sous la latitude de 45°, est de 1,29 gramme.

CHAPITRE XXVIII.

De l'Eau dans l'air atmosphérique, ou premiers principes de l'Hygrométrie.

§ 1. Le physicien mécaniste doit nécessairement connaître les effets réciproques de l'air et de l'eau, puisque autrement il peut être conduit à des conclusions inexactes dans plusieurs circonstances; par exemple, dans l'expérience de la dilatation des gaz par la chaleur.

L'air même le plus sec contient toujours une certaine quantité d'eau, et l'on a inventé un assez grand nombre d'instrumens qu'on nomme *hygromètres* ou *hygroscopes*, au moyen desquels on peut mesurer cette quantité; mais il est impossible de juger avec exactitude de la construction de ces instrumens et de leur usage, si l'on ne connaît pas les lois d'après lesquelles l'eau se partage dans un système de corps qui ont tous de l'affinité pour elle. Nous devons donc exposer ces lois, quoiqu'elles soient plutôt chimiques que mécaniques.

§ 2. L'eau peut être contenue dans l'air de deux manières: elle peut y nager seulement divisée en particules très-ténues, sans avoir pris réellement l'état élastique; ou bien, elle peut y être parfaitement dissoute, et avoir pris en effet l'état aériforme.

§ 3. La vapeur visible qui s'élève des liquides chauffés, est formée de petites bulles qu'on peut encore distinguer avec le microscope. Ces bulles, ou cette poussière de vapeur, tomberaient à terre dans un air parfaitement tranquille; mais il est difficile de trouver dans la réalité une masse d'air parfaitement en repos, et le plus léger mouvement suffit pour élever une grande quantité de ces bulles. S'il ne s'en trouve que très-peu dans l'air, elles ne nuisent pas à sa transparence; mais cependant elles peuvent occasionner quelques erreurs dans les résultats des expériences, parce qu'à la moindre élévation de température, elles peuvent passer à l'état élastique. Si elles sont en grande quantité, elle forment des vapeurs visibles; le brouillard et les nuages n'ont point d'autre origine. On ne doit cependant pas conclure, par réciprocité, que toutes les vapeurs visibles consistent en bulles d'eau. Non-seulement tous les autres liquides peuvent former des

vapeurs visibles, mais les corps solides le peuvent aussi lorsqu'ils sont divisés en particules assez ténues. La vapeur ou fumée d'une flamme, est formée seulement de charbon finement divisé, et la vapeur blanche que produit le phosphore en brûlant, est de l'acide phosphorique primitivement solide, mais divisé à l'infini.

§ 4. Lorsqu'on met de l'eau dans un vase ouvert et qu'on l'expose à l'air libre, elle diminue peu-à-peu et disparaît bientôt, parce qu'elle se dissout dans l'air. Si cette évaporation se fait dans un espace d'air renfermé et absolument privé d'eau, l'air accroît son volume, et change son élasticité et son poids spécifique. Ceci est une preuve que l'eau évaporée n'est pas seulement mêlée mécaniquement avec l'air, mais qu'elle y est combinée chimiquement, et par conséquent qu'elle a passé à l'état élastique. Non-seulement l'air atmosphérique, mais peut-être tous les gaz sans exception, peuvent se combiner de cette manière, avec une plus ou moins grande quantité d'eau. L'air ne perd point sa transparence par l'addition de cette eau dissoute et combinée; même il peut, dans cet état, paraître encore très-sec pour nos sens. Cet effet est réciproque entre l'air et l'eau; et les parties d'eau qui ne sont pas encore vaporisées, prennent toujours en combinaison quelques particules d'air auxquelles elles communiquent leur état d'agrégation, c'est-à-dire, qu'elles les font passer à l'état liquide.

§ 5. La force dissolvante de l'air n'est pas également grande dans toutes les circonstances; la chaleur et la condensation l'augmentent; le froid et la dilatation la diminuent (1). Ainsi, lorsqu'une masse d'air a absorbé autant d'eau qu'elle en peut contenir, si elle est refroidie ou dilatée, une partie de l'eau devenue élastique, reprend l'état liquide, et paraît à l'état de bulles de vapeur. C'est pour cela que la cloche d'une machine pneumatique, est souvent revêtue de vapeur d'eau, lorsqu'on raréfie l'air; est c'est par la même raison que les corps froids qu'on porte à l'air chaud, deviennent humides sur leur surface.

---

(1) L'air, en se condensant, dégage de la chaleur; en se dilatant, il en absorbe. Ainsi, les effets de la condensation et de la dilatation de l'air sur les vapeurs, se rapportent aux changemens de température. Quand la température primitive s'est rétablie, la quantité de vapeurs qui peut exister dans un espace donné, redevient exactement la même, quelle que soit la dilatation ou la condensation de l'air que cet espace contient. (*Voyez* l'addition placée à la fin de ce chapitre.)

Dans ces circonstances, on dit que l'eau se *précipite*. Au contraire, les bulles de vapeur se dissolvent ou se changent en vapeurs élastiques, lorsque l'air dans lequel elles nagent, est échauffé ou comprimé.

§ 6. Indépendamment de l'air, beaucoup d'autres corps ont aussi une grande affinité pour l'eau. Lorsqu'un corps de cette espèce, est placé dans un espace d'air contenant de l'eau en dissolution, il enlève à cet air une partie de son eau : plus le corps a déjà attiré d'eau, et moins fortement il continue à en attirer; et, au contraire, plus l'air en a perdu, et plus il retient le reste avec une force considérable : il doit donc nécessairement y avoir un moment où tous deux retiennent l'eau avec une égale force; alors l'effet est terminé. On nomme cet état de repos, *équilibre hygrométrique*. Si une masse d'air, contenant de l'eau, se trouve en contact avec différens corps de cette espèce, chacun d'eux lui enlève une partie de son eau, les uns plus, les autres moins, selon la mesure de leur affinité pour l'eau; au contraire, si des corps qui ont absorbé de l'eau, sont exposés à un air qui en contient moins qu'il n'est nécessaire pour établir l'équilibre hygrométrique, il leur enlèvera de l'eau jusqu'à ce que cet équilibre soit parfait.

§ 7. Sans doute il n'existe aucun corps qui n'ait quelque affinité pour l'eau; mais, dans beaucoup d'entre eux, cette affinité est insensible. Ceux qui montrent la plus grande affinité pour ce liquide, se nomment des *corps hygroscopiques*. Dans cette classe, se trouvent tous les corps qui dérivent de la nature organique, comme le bois, les os, l'ivoire, les cheveux, le papier, le parchemin, l'épiderme qui recouvre les parties internes et externes des corps animaux, ainsi que les cordes d'instrumens qui en sont faites, les tuyaux de plumes, le chanvre, le coton, la soie, etc. Il y a aussi beaucoup de corps inorganiques qui sont hygroscopiques. Par exemple, tous les sels solubles demeurent hygroscopiques, même dans l'état liquide, et quand leur dissolution est saturée. La plupart des acides, sur-tout l'acide sulfurique, possèdent cette propriété, de même que l'ardoise, l'argile et les autres minéraux qui s'attachent à la langue. On peut aussi compter dans cette classe, les corps qui sont trop compacts pour s'imbiber d'eau, mais dont la surface s'en recouvre lorsqu'on les expose à un air chaud et humide; tels sont les verres, les métaux, etc.

§ 8. Comme la température et la densité changent continuelle-

ment dans l'air atmosphérique, il doit y avoir aussi un échange d'eau continuel entre l'air et tous les corps avec lesquels il est en contact.

§ 9. Tels sont les observations et les principes sur lesquels est fondée l'*Hygrometrie*, c'est-à-dire, l'évaluation de la quantité d'eau contenue dans l'air. D'après ces principes, on reconnaîtra facilement que l'eau, en se partageant dans un système de corps pour y établir l'équilibre hygrométrique, suit des lois semblables à celles d'après lesquelles la chaleur se propage pour arriver à l'équilibre thermométrique; et de plus, on apprendra par l'étude de la Chimie, que les diverses affinités chimiques agissent d'après ces mêmes lois qui sont générales pour toutes les substances. Ceci est une raison décisive pour admettre la matérialité de la chaleur.

ADDITION RELATIVE A L'HYGROMÉTRIE.

Tout ce que l'auteur dit dans ce chapitre, sur la manière dont l'équilibre hygrométrique s'établit entre diverses substances qui ont de l'affinité pour l'eau, est parfaitement juste; mais la vaporisation de l'eau dans l'air et dans la plupart des gaz, paraît ne pas dépendre de cette cause; car les expériences montrent qu'elle s'opère indépendamment de l'affinité, ou, du moins, comme si l'effet de l'affinité y était tout-à-fait insensible.

On a reconnu que les liquides peuvent se réduire en vapeur à toutes les températures, sous la pression de l'air atmosphérique, par une sorte d'évaporation lente qui s'opère seulement à la surface du liquide, et dans laquelle la vapeur n'a pas réellement à soulever le poids de l'atmosphère, comme il arrive dans l'ébullition : on a encore remarqué que cette disparition du liquide est, en général, d'autant plus rapide que l'air est plus sec et plus souvent renouvelé : les physiciens ont de tout temps attribué ce phénomène à une sorte d'action dissolvante de l'air, analogue à celle que l'eau exerce sur les sels. *Dalton* est le premier qui ait démontré d'une manière absolue que cette supposition était sans fondement, et que par conséquent, la formation de la vapeur devait être uniquement attribuée, dans tous les cas, à la force expansive du calorique. La démonstration résulte des trois faits suivans. 1.° Les liquides se vaporisent plus vite dans le vide que dans l'air, ou dans tout autre gaz; 2.° il se forme dans un espace plein d'air ou de tout autre gaz, précisément autant de vapeur que dans le même espace vide. 3.° La vapeur une fois formée et mêlée à l'air, jouit d'une force élastique parfaitement égale à celle qu'elle possède, lorsqu'elle occupe seule un espace vide. En effet, si l'on introduit une certaine quantité d'eau dans un récipient parfaitement vide et à la température de 0°, on verra le baromètre s'élever de 5 millimètres qui expriment *la force élastique* ou *la tension* de l'eau à cette température. Si au lieu d'un récipient vide, on

se sert d'un récipient rempli d'air parfaitement sec, qui supporte actuellement $0^m,760$, par exemple, de mercure, et qu'on introduise un peu d'eau dans cet air, la température étant toujours à 0°, la colonne de mercure s'élevera encore de 5 millimètres, comme dans le cas précédent, et deviendra par conséquent $0^m,765$. Les exemples fréquens d'évaporation d'un liquide exposé au contact de l'air atmosphérique et sans que ce liquide soit élevé à la température de l'ébullition, s'expliquent comme il suit dans la théorie de *Dalton*. A la température ordinaire, les liquides s'évaporent dans l'atmosphère d'autant plus vite que l'air est plus souvent renouvelé, ce que l'on conçoit en se représentant que l'air inmobile au-dessus d'un liquide, est bientôt chargé de toute la vapeur que comporte la température et qu'alors l'évaporation s'arrête, comme cela arriverait dans un espace limité; tandis que si les masses d'air qui touchent le liquide, se renouvellent continuellement, elles n'arriveront jamais à contenir le *maximum* de vapeur d'eau, et le cas sera le même que pour un liquide situé dans un espace indéfini. L'évaporation libre sera d'autant plus rapide que l'air environnant sera plus sec. Lorsqu'un liquide est chauffé au-dessus de la température de l'air, son évaporation est d'autant plus rapide que sa température est plus élevée. Toutes choses égales d'ailleurs, l'évaporation spontanée est d'autant plus rapide que la surface du liquide est plus considérable. L'effet de l'évaporation spontanée est de refroidir continuellement la masse d'où la vapeur s'échappe. L'atmosphère, à raison de sa masse immense et mobile et des grandes variétés de sa température, donne lieu à une grande variété d'effets dépendans de la quantité d'eau en vapeur qu'elle peut contenir : pour les concevoir, il faut partir d'un petit nombre de propositions simples qui sont la conséquence des principes que nous venons d'établir : 1.° si une masse d'air, à une température quelconque, est actuellement en contact avec de l'eau, elle contient autant de vapeur qu'il peut s'en former à cette température : 2.° si cette masse d'air s'échauffe, elle recevra une nouvelle quantité de vapeur, proportionnelle à sa nouvelle température : si elle se refroidit, il se condensera une partie de l'eau qu'elle contenait : 3.° si une masse d'air qui a été en contact avec de l'eau, est transportée hors de ce contact, sans changer de température, elle conservera le *maximum* de vapeur d'eau qu'elle contenait. 4.° Si cet air est échauffé, il ne contiendra plus le *maximum* de vapeur d'eau qu'il peut contenir, et s'il est refroidi, il laissera déposer de l'eau qu'il contenait. L'air atmosphérique peut être sec ou humide : dans le premier cas, il favorise l'évaporation et ne dépose point de liquide à la surface du corps qu'il environne; dans le second cas, le contraire arrive; il humecte promptement les corps et surtout ceux qui sont plus froids que lui. L'air paraîtra sec tant que la quantité de vapeur d'eau qu'il contiendra, sera au-dessous du *maximum* dépendant de la température; il paraîtra humide aussitôt que la quantité de vapeur d'eau excédera ce *maximum*. Ainsi l'air deviendra fréquemment humide en se refroidissant, et deviendra toujours sec en s'échauffant. 5.° A égalité de densité, l'air mélangé de vapeur est plus léger que

l'air sec : aussi le baromètre se tient-il plus bas, lorsque l'atmosphère est chargée de vapeur aqueuse, que lorsqu'elle et sèche.

Voilà ce qui a lieu pour un liquide qui n'est soumis à aucune force étrangère, et qui cède seulement à l'action répulsive du calorique interposé entre ses particules, cause déterminante de l'évaporation. Mais si le liquide est retenu par un corps solide qui ait de l'affinité pour lui, il sera sans cesse sollicité par deux forces contraires qui, suivant le circonstances, pourront se surpasser ou se contre-balancer. Si l'espace où le corps est plongé, est privé de vapeurs, l'action élastique aura toute son énergie, et une partie du liquide se séparera du corps solide en prenant l'état aériforme; mais, par cet effet même, la prépondérance de la force élastique se trouvera diminuée; car la tendance à la vaporisation deviendra moindre, et l'action du corps solide, au contraire, sur l'eau qui lui reste, augmentera en raison de ce qu'il a déjà perdu. De là resultera un *état d'équilibre hygrométrique ;* mais cet état sera troublé par un changement de température. Si celle-ci s'élève, la force élastique l'emporte, et une nouvelle quantité de liquide se vaporise ; si elle s'abaisse, l'affinité redevient prépondérante, et une portion des vapeurs étant absorbée de nouveau, repasse à l'état liquide. Ces échanges continuels sont assez sensibles, relativement à certains corps, comme les cheveux, les plumes, les cordes, pour faire varier leurs dimensions, et l'on peut ainsi en observer toutes les successions : c'est sur cette propriété que sont fondés les instrumens que l'on nomme *hygromètres ;* et l'on voit que le jeu de ces instrumens s'explique avec une extrême facilité d'après ces principes, sans admettre dans l'air une force dissolvante de l'eau, que n'indiquent point les expériences; mais par le seul fait de l'*équilibre mobile* entre l'affinité du corps solide pour l'eau, et la force élastique de la chaleur.

Au reste, les résultats que je viens de rapporter n'avaient pas encore été suffisamment répandus, lorsque l'ouvrage de M. *Fischer* fut publié, et ils n'étaient point encore réduits en corps de doctrine; sans cela notre judicieux auteur en aurait sans doute fait usage : il n'a pu qu'indiquer dans une note, à la fin de l'ouvrage, quelques-uns des résultats de *Dalton*, qui étaient parvenus à sa connaissance pendant le cours de l'impression.

Pour suppléer à cette omission, autant qu'on peut le faire dans un ouvrage où les véritables idées des phénomènes physiques peuvent être indiquées plutôt qu'établies en détail, j'insère ici une table des forces élastiques de la vapeur aqueuse à des températures diverses, comprises depuis — 20° au-dessous zéro, jusqu'à 130° au-dessus. Cette table est déduite par interpolation d'un grand nombre d'expériences faites par MM. *Dalton* et *Gay-Lussac*.

TABLE *des forces élastiques de la vapeur d'eau, évaluée en millim. pour chaque degré du thermomètre centigrade, par* M.r POUILLET.

Degrés.	Tensions.	Degrés.	Tensions.	Degrés.	Tensions.	Degrés.	Tensions.
— 20	1,333	18	15,353	56	119,39	94	611,18
— 19	1,429	19	16,288	57	125,31	95	634,27
— 18	1,531	20	17,314	58	131,50	96	658,05
— 17	1,638	21	18,317	59	137,94	97	682,59
— 16	1,755	22	19,417	60	144,66	98	707,63
— 15	1,879	23	20,577	61	151,70	99	733,46
— 14	2,011	24	21,805	62	158,96	100	760,00
— 13	2,152	25	23,090	63	166,56	101	787,27
— 12	2,302	26	24,452	64	174,47	102	815,26
— 11	2,461	27	25,881	65	182,71	103	843,98
— 10	2,631	28	27,390	66	191,27	104	873,44
— 9	2,812	29	29,045	67	200,18	105	903,64
— 8	3,005	30	30,643	68	209,44	106	934,81
— 7	3,210	31	32,410	69	219,06	107	966,31
— 6	3,428	32	34,261	70	229,07	108	994,79
— 5	3,660	33	36,188	71	239,45	109	1032,04
— 4	3,907	34	38,254	72	250,23	110	1066,06
— 3	4,170	35	40,404	73	261,43	111	1100,87
— 2	4,448	36	42,743	74	273,03	112	1136,43
— 1	4,745	37	45,038	75	285,07	113	1172,78
0	5,059	38	47,579	76	297,57	114	1209,90
1	5,393	39	50,147	77	310,49	115	1247,81
2	5,748	40	52,998	78	323,89	116	1286,51
3	6,123	41	55,772	79	337,76	117	1325,98
4	6,523	42	58,792	80	352,08	118	1366,22
5	6,947	43	61,958	81	367,00	119	1407,24
6	7,396	44	65,627	82	382,38	120	1448,83
7	7,871	45	68,751	83	398,28	121	1491,58
8	8,375	46	72,393	84	414,73	122	1534,89
9	8,909	47	76,205	85	431,71	123	1578,96
10	9,475	48	80,195	86	449,26	124	1623,67
11	10,074	49	84,370	87	467,38	125	1669,31
12	10,707	50	88,742	88	486,09	126	1715,58
13	11,378	51	93,301	89	505,38	127	1762,56
14	12,087	52	98,075	90	525,28	128	1810,25
15	12,837	53	103,06	91	545,80	129	1858,63
16	13,630	54	108,27	92	566,95	130	1907,67
17	14,468	55	113,71	93	588,74		

§ 10. Nos sens jugent aussi inexactement de l'humidité que de la chaleur. Nous trouvons que l'air ou un corps quelconque est humi-

de, lorsqu'il dépose de l'humidité sur notre corps; nous jugeons qu'il est sec, lorsqu'il lui enlève de l'humidité (*). La même masse d'air peut donc ainsi paraître humide à un observateur, et sèche à un autre. Les physiciens ont, par cette raison, pensé de bonne heure à des instrumens qui pussent indiquer l'humidité de l'air plus sûrement que notre tact. Il faudrait s'étendre beaucoup plus loin qu'un ouvrage élémentaire ne le permet, pour rapporter les nombreux essais qui ont été faits sur cette matière, et d'autant plus que les anciens instrumens de cette espèce, sont très-défectueux, et que, même les meilleurs que nous ayons, sont loin d'approcher de la perfection du thermomètre. — Il est assez singulier que nous sachions mieux mesurer une substance non perceptible pour nos sens, qu'une substance que nous pouvons immédiatement observer.

§ 11. Nous nous contenterons de remarquer, relativement aux plus anciens hygromètres, que les meilleurs d'entre eux sont fondés sur les propriétés hygroscopiques des cordes à boyau, lesquelles se détordent par l'effet de l'humidité qui s'y introduit, et deviennent ainsi plus courtes parce qu'elles augmentent de grosseur.

§ 12. Parmi les instrumens de cette espèce, nouvellement imaginés, il en est seulement deux qui méritent le nom d'hygromètres : celui de *Saussure*, et le plus nouveau de ceux de *Deluc*. Nous ne parlerons que du premier qui est le plus usité aujourd'hui.

Le corps hygroscopique employé par *Saussure*, est un cheveu dépouillé de toutes substances grasses, par l'ébullition dans une faible dissolution de potasse. L'instrument consiste en un cheveu solidement attaché par l'une de ses extrémités et qui s'enveloppe deux fois au-

(*) Le degré d'humidité de l'air indiqué par l'hygromètre qu'on va décrire, influe considérablement et peut-être plus qu'aucune variation atmosphérique, sur la manière dont s'exécutent les fonctions des êtres organisés : on le concevra facilement, si l'on fait attention que la quantité de vapeur actuellement contenue dans l'air, est une des causes principales qui modifient la transpiration pulmonaire ou cutanée. En général, la trop grande siccité de l'air produit rapidement des inflammations : un degré modéré de sécheresse rend les fonctions plus actives et développe la sensibilité générale : l'humidité prolongée, au contraire, débilite plus complètement qu'aucune autre cause et produit toutes les affections qui peuvent dépendre de l'atonie de nos tissus.

tour d'une petite poulie qui fait mouvoir une aiguille ; à l'extrémité libre de ce cheveu, est attaché un poids qui sert à lui donner le degré de tension convenable. Le cheveu ainsi préparé, se raccourcissant par la sécheresse, et s'allongeant par l'humidité (*), l'aiguille, par ses mouvemens sur un arc de cercle gradué, indique les raccourcissemens ou les allongemens que le cheveu subit par suite des variations d'humidité de l'air qui l'environne.

§ 13. L'avantage essentiel de cet hygromètre, consiste en ce que l'on y détermine par expérience deux points fixes, ceux de plus grande sécheresse et de plus grande humidité ; ce qui sert ensuite pour établir des échelles comparables entre ces deux points. *Lambert* avait eu déjà cette idée, mais il n'avait pas réussi à l'exécuter si exactement que *Saussure* et *Deluc*.

§ 14. On détermine le *point de sécheresse absolue*, en plaçant l'instrument sous une grande cloche de verre, avec des sels desséchés au feu (pag. 107, § 5), et en le laissant dans cette situation tant qu'on peut remarquer un raccourcissement dans le cheveu.

§ 15. On détermine le *point de la plus grande humidité*, en suspendant l'instrument sous une cloche dont les parois sont mouillées avec de l'eau ; la cloche elle-même est placée sur une assiette où il y a de l'eau, afin d'empêcher l'introduction de l'air extérieur : on laisse l'appareil ainsi disposé, jusqu'à ce que le cheveu n'éprouve plus aucun allongement, et l'on observe le point où il s'arrête.

La distance qui se trouve entre ce deux points fixes, se partage en 100 divisions que l'on appelle *degrés* (**).

---

(1) On peut trouver quelque contradiction entre ces deux effets, savoir : l'allongement du cheveu par l'humidité et le racourcissement d'une corde par la même cause. Mais il suffira d'observer qu'un cheveu étant un tube composé de fibres longitudinales et parallèles, les molécules aqueuses en s'insinuant entre les particules de ces fibres, doivent produire une distension plus considérable dans le sens de la longueur que dans celui de la grosseur. Dans la corde, cet effet est encore le même sur chaque fibre composante ; mais comme la direction de ces fibres est en forme de tire-bouchon ou de spirale, l'humidité agrandit le diamètre des anneaux, ce qui produit le raccourcissement de la corde.

(**) L'hygromètre de *Wilson* est formé d'une vessie de rat, remplie de mercure et communiquant avec un tube étroit : l'humidité dilate la vessie et fait

Remarques générales sur l'Hygrométrie.

§ 16. Qu'indique proprement un hygromètre? Selon la théorie exposée plus haut, l'allongement du cheveu indique qu'il a enlevé de l'eau à l'air; son raccourcissement, qu'il lui en a cédé; et l'état de repos, que le cheveu et l'air sont arrivés à l'équilibre hygrométrique. Par conséquent, si les forces avec lesquelles l'air et les corps hygroscopiques attirent l'eau, étaient entre elles dans des rapports invariables, la marche de l'aiguille indicatrice ne serait soumise qu'à l'augmentation ou à la diminution de l'eau contenue dans l'air, et il n'y aurait aucune difficulté à déterminer dans quels rapports elle s'y trouve, pour chaque degré de l'hygromètre. Mais comme la force élastique de la vapeur d'eau, augmente quand la température s'élève, et décroît quand elle s'abaisse, l'aiguille de l'hygromètre doit se mouvoir, quoique la quantité absolue des vapeur ne change point, lorsqu'il arrive un changement dans la température de l'air; ensorte que lorsque, par exemple, la température augmente, la marche de l'hygromètre est compliquée de la dilatation du cheveu par le calorique. Même, comme l'air peut contenir, indépendamment de l'eau, un mélange de beaucoup d'autres substances qui agissent toutes sur l'eau avec une force particulière, il est évident que l'indication que donne un hygromètre, est un résultat compliqué de beaucoup de forces. Il arrive aussi que l'eau liquide suspendue dans l'air, et les bulles de vapeur qui y nagent, agissent conjointement sur l'hygromètre, sans qu'on puisse les distinguer. Ces observations ne permettent guère d'espérer qu'on puisse parvenir à donner à ces instrumens le degré de perfection nécessaire.

§ 17. Un autre défaut de presque tous les hygromètres inventés jusqu'ici, consiste en ce que le corps hygroscopique est d'origine organique. A la vérité, les corps de ce genre sont, pour la plupart, très sensibles à l'humidité; mais c'est une loi générale, que chaque corps produit par une force organique doit, dès que cette force est détruite, changer sa constitution chimique lorsqu'il est exposé à

---

descendre le mercure; l'inverse a lieu par la sécheresse. Mais l'hygromètre à cheveu est jusqu'ici le seul qui ait été rendu comparable et dont on fasse un usage habituel.

l'air, à l'humidité, et à des variations multipliées de température. Ces corps hygroscopiques doivent donc, avec le temps, devenir hors d'état d'être employés, puisqu'en changeant leurs propriétés matérielles, ils changent aussi leur force attractive relativement à l'eau. Ceci est une circonstance à laquelle on paraît n'avoir fait aucune attention jusqu'à présent.

§ 18. Comme il est sans vraisemblance qu'on puisse jamais trouver un hygromètre dont l'échelle indique immédiatement combien de parties d'eau sont contenues dans l'air, il ne reste d'autre moyen, pour faire exactement cette estimation, que celui des décompositions chimiques. Les sels desséchés présentent un manière assez commode et assez précise de faire cette opération. Pour cela, il faudrait mettre l'air qu'on veut éprouver, dans un vase d'une capacité exactement connue, et l'exposer ainsi long-temps à l'action d'un sel desséché, et garanti avec grand soin de toutes les atteintes de l'humidité. L'accroissement de poids du sel, déterminé avec une balance très-sensible, donnerait l'évaluation de l'eau contenue dans l'air; seulement cette évaluation serait un peu trop faible, puisqu'il est clair, d'après la théorie que nous venons d'exposer, qu'aucun corps ne peut enlever à l'air toute l'eau qui y est contenue (1).

ADDITION.

Depuis la publication de cet Ouvrage, M. *Gay-Lussac* a trouvé un procédé très-simple pour mesurer les quantités réelles de vapeur aqueuse, correspondantes aux indications de l'hygromètre de *Saussure*. Ce procédé consiste à enfermer l'hygromètre dans un grand vase de verre en partie rempli d'eau ou d'une dissolution saline connue, et dont on a préalablement mesuré la tension dans le vide, au moyen du baromètre, à une température connue. Après avoir fermé exactement toute

---

(1) On trouve de plus grands détails sur tous les Hygromètres, dans *Gehler* et *Fischer*, ainsi que dans l'*Encyclopédie économique* de *Krünitz*. *Voyez*, sur l'hygromètre de *Lambert*, les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1769 et 1772: l'*Hygrométrie* du même, et sa suite. Sur les *Recherches* de *Deluc*, *voyez* ses *Idées sur la Météorologie*, première partie; *Gren's*, *Journal de Physique*, V, 279 — 362; VIII, 141 — 160 et 293 — 302. Le travail de *Saussure* se trouve dans son livre intitulé *Essai sur l'Hygrométrie*. Les recherches de *Saussure* sont très-importantes, et son ouvrage est considéré comme classique. *Voyez* aussi le *Traité de Physique expérimentale et mathématique* de *Biot*.

communication entre l'intérieur du vase et l'air du dehors, on laisse l'expérience se continuer pendant plusieurs jours. Le liquide finit par saturer l'intérieur de l'appareil de vapeurs aqueuses, jusqu'au terme que sa force d'émission comporte, et l'hygromètre, après s'être mis en équilibre avec elles, finit par s'arrêter à un certain degré de sa propre division. On apprend donc ainsi, que ce degré correspond à la tension connue du liquide, et par conséquent à la quantité de vapeur dont on sait que cette tension doit remplir l'espace. En répétant l'expérience avec divers liquides dont les tensions sont diverses, depuis l'eau pure qui donne la saturation complète, jusqu'à un liquide dessicatif tel que l'acide sulfurique qui produit la sécheresse extrême, on obtient autant de termes qu'on veut de la correspondance de l'hygromètre à la tension de la vapeur; c'est-à-dire, une succession de résultats qui, interpolés, donnent la loi générale applicable aux degrés intermédiaires. C'est ainsi qu'a été formée la table suivante, sur les résultats obtenus par M. *Gay-Lussac*, et que ce savant célèbre a bien voulu me communiquer.

TABLE HYGROMÉTRIQUE

Construite pour la température de 10° centésimaux, d'après les expériences de M. Gay-Lussac.

Tensions de la vapeur.	Degrés de l'hygromètre à cheveu.	Tensions de la vapeur.	Degrés de l'hygromètre à cheveu.	Tensions de la vapeur.	Degrés de l'hygromètre à cheveu.	Tensions de la vapeur.	Degrés de l'hygro mètre à cheveu.
0	0,00	26	47,55	52	73,68	78	89,51
1	2,19	27	48,86	53	74,41	79	90,03
2	4,37	28	50,18	54	75,14	80	90,55
3	6,56	29	51,49	55	75,87	81	91,05
4	8,75	30	52,81	56	76,54	82	91,55
5	10,94	31	53,96	57	77,21	83	92,05
6	12,93	32	55,11	58	77,88	84	92,54
7	14,92	33	56,27	59	78,55	85	93,04
8	16,92	34	57,42	60	79,22	86	93,52
9	18,91	35	58,58	61	79,84	87	94,00
10	20,91	36	59,61	62	80,46	88	94,48
11	22,81	37	60,64	63	81,08	89	94,95
12	24,71	38	61,66	64	81,70	90	95,43
13	26,61	39	62,69	65	82,32	91	95,90
14	28,51	40	63,72	66	82,90	92	96,36
15	30,41	41	64,63	67	83,48	93	96,82
16	32,08	42	65,53	68	84,06	94	97,29
17	33,76	43	66,43	69	84,64	95	97,75
18	35,43	44	67,34	70	85,22	96	98,20
19	37,11	45	68,24	71	85,77	97	98,69
20	38,78	46	69,03	72	86,31	98	99,10
21	40,27	47	69,83	73	86,86	99	99,55
22	41,76	48	70,62	74	87,41	100	100,00
23	43,26	49	71,42	75	87,95		
24	44,75	50	72,21	76	88,47		
25	46,24	51	72,94	77	88,99		

Cette Table est construite pour donner les degrés de l'hygromètre à cheveu, quand l'on connaît la tension de la vapeur aqueuse actuellement existante dans l'air. La tension de la vapeur aqueuse, pour l'état de saturation complète, y est représentée par le nombre 100, et les autres tensions plus petites sont exprimées en parties centésimales de cette unité-là. Par conséquent, si on les suppose observées sous une autre forme, par exemple, en millimètres, il faudra pour les appliquer à notre Table, les multiplier par 100, et les diviser par $9^{mm},475$, qui, d'après la Table de la page 161, exprime la tension totale de la vapeur en millimètres à la température de 10° centésimaux.

TABLE HYGROMÉTRIQUE

Construite pour la température de 10° centésimaux, d'après les expériences de M. Gay-Lussac.

Degrés de l'hygromètre à cheveu.	Tensions.	Degrés de l'hygromètre à cheveu.	Tensions.	Degrés de l'hygromètre à cheveu.	Tensions.	Degrés de l'hygromètre à cheveu.	Tensions.
0	0,00	26	12,59	52	29,38	78	58,24
1	0,45	27	13,14	53	30,17	79	59,73
2	0,90	28	13,69	54	30,97	80	61,22
3	1,35	29	14,23	55	31,76	81	62,89
4	1,80	30	14,78	56	32,66	82	64,57
5	2,25	31	15,36	57	33,57	83	66,24
6	2,71	32	15,94	58	34,47	84	67,92
7	3,18	33	16,52	59	35,37	85	69,59
8	3,64	34	17,10	60	36,28	86	71,49
9	4,10	35	17,68	61	37,31	87	73,39
10	4,57	36	18,30	62	38,34	88	75,29
11	5,05	37	18,92	63	39,36	89	77,19
12	5,52	38	19,54	64	40,39	90	79,09
13	6,00	39	20,16	65	41,42	91	81,09
14	6,48	40	20,78	66	42,58	92	83,08
15	6,96	41	21,45	67	43,73	93	85,08
16	7,46	42	22,12	68	44,89	94	87,07
17	7,95	43	22,79	69	46,04	95	89,06
18	8,45	44	23,46	70	47,19	96	91,25
19	8,95	45	24,13	71	48,51	97	93,44
20	9,45	46	24,86	72	49,82	98	95,63
21	9,97	47	25,59	73	51,14	99	97,81
22	10,49	48	26,32	74	52,45	100	100,00
23	11,01	49	27,06	75	53,76		
24	11,53	50	27,79	76	55,25		
25	12,05	51	28,58	77	56,74		

Cette Table est construite pour donner les tensions de la vapeur, correspondantes aux degrés de l'hygromètre : ces tensions y sont, comme dans la Table précédente, exprimées en parties centésimales de la tension totale. En conséquence, si on veut les exprimer en millimètres, quand le degré de l'hygromètre les aura indiquées, il faudra les multiplier par $9^{mm},475$ qui est la tension maximum de la vapeur d'eau à 10 degrés, et prendre le centième du produit.

CHAPITRE XXIX.

Du Baromètre et de la Machine Pneumatique.

§ 1. Nous devons maintenant nous instruire plus particulièrement des propriétés mécaniques de l'air. Pour cela, nous allons d'abord examiner avec attention deux instrumens qui sont d'une grande importance pour la Physique, et dont la destination propre est de faire reconnaître les propriétés mécaniques de l'air, c'est-à-dire, sa pesanteur et sa dilatabilité. Ces instrumens se nomment le *Baromètre* et la *Machine Pneumatique*.

Du Baromètre.

§ 2. On remplit de mercure un tube de verre AB, (*fig.* 47), long de trente pouces ou davantage, large au moins d'une ligne et fermé hermétiquement à l'une de ses extrémités A : on bouche ensuite avec le doigt l'orifice B du tube, on le renverse et on le plonge par cette extrémité dans un vase CD qui contient du mercure, en prenant bien soin qu'il n'y entre point d'air : alors, si l'on retire le doigt qui fermait l'orifice, le mercure descend dans le tube, mais non pas jusqu'au niveau CD du vase; il reste élevé à une hauteur EF de 28 pouces environ. Si la surface du mercure CD n'était exposée à aucune pression, il devrait descendre jusqu'en E, d'après les lois de l'Hydrostatique (pag. 121, 122, §§ 2, 3,); la colonne de mercure EF ne peut donc être soutenue que par la pression de l'air extérieur sur la surface libre CD du mercure. Cette expérience que *Torricelli* fit le premier à Florence, en 1644, ne sert pas seulement à prouver que l'air exerce une pression, mais elle en donne encore la mesure exacte; car on voit que cette pression est justement équivalente à celle qu'exerce une colonne de mercure de la hauteur EF. Lorsque l'opération est faite avec le soin nécessaire, il y a dans le tube, au-dessus du point F, un espace entièrement vide d'air : c'est ce qu'on nomme le *vide de Torricelli*.

L'appareil entier se nomme le *Tube de Torricelli*, et quand il est pourvu d'une échelle pour mesurer la hauteur EF, il prend le nom de *baromètre*.

§ 3. On peut voir dans les dictionnaires de *Gehler* et de *Fischer*, à l'article *Barometer*, les différentes formes qu'on a données au tube, les diverses manières de le purger d'air, et les perfectionnemens qu'on a imaginés pour rendre sensibles les plus légères variations de la hauteur EF. Après tous ces essais, on est revenu aux plus simples dispositions qui sont représentées (*fig.* 48, 49 et 50) : la *fig.* 48 montre le *baromètre à cuvette* : GBH est un vase de bois ou de verre qui est joint au tube en GH : il peut y avoir, en cet endroit, une petite ouverture pour faciliter le passage de l'air dans l'intérieur du vase, quoiqu'il pénètre fort aisément, même au travers d'un bois très compacte. La *fig.* 49 représente le baromètre nommé, à cause de la forme du tube, le *baromètre à fiole*; celui de la *fig* 50. consiste en un seul tube ABG, d'une largeur aussi égale que possible, et il se nomme le *baromètre à siphon* : c'est celui de ces instrumens qui est le plus en usage pour les expériences exactes (1). On conçoit facilement que l'échelle divisée en pouces, qui est jointe à chacun de ces baromètres, pour mesurer la colonne EF, doit être faite avec une très-grande exactitude. Sur le continent d'Europe, on ne se sert, jusqu'à présent, que des anciennes mesures françaises pour ces divisions : les Anglais seuls emploient les leurs (2). Au reste, ce qui est exigé dans chaque bon baromètre, c'est qu'il ne pénètre point d'air dans l'espace AF, et de plus que le diamètre intérieur du tube, soit large d'une ligne, ou davantage; car dans les tubes plus étroits, le mercure

---

(1) Son principal avantage est d'être indépendant des effets de la capillarité. Si le tube est sensiblement d'un diamètre égal dans ses deux branches, la convexité de la surface du mercure produit dans l'une et dans l'autre une action égale, ce qui ne trouble point l'équilibre ; et le poids de l'atmosphère est exactement représenté par la différence de longueur des deux colonnes.

(2) La plupart des baromètres français portent maintenant deux échelles, l'une en mètres et millimètres, l'autre en pouces et lignes. On y adapte des verniers qui donnent les dixièmes de millimètre, avec une très-grande précision. A cet égard, rien de plus simple, de plus exact et de plus commode que les baromètres portatifs de *Fortin*, à Paris.

reste trop bas, même quand ils sont vides d'air, à cause de la capillarité (1).

§ 4. Bientôt après l'invention du baromètre, on remarqua que la pression de l'air est variable, et que le mercure monte ou descend de deux pouces environ au-dessus ou au-dessous de sa hauteur moyenne en F : on observa aussi un certain rapport entre l'état du baromètre et l'état du ciel, parce qu'en effet lorsque le mercure est élevé dans le baromètre, le temps est ordinairement serein, et qu'il devient variable quand le baromètre baisse. Cette règle n'est pourtant par certaine; mais elle s'observe plus fréquemment qu'elle ne manque. L'explication plus détaillée de ceci, doit se rapporter à la Géographie physique (2).

---

(1) Dans le texte, on s'est contenté de supposer que l'on versait du mercure dans le tube, et qu'on le renversait ensuite, en posant le doigt sur l'extrémité ouverte; mais de cette manière, on n'aurait qu'un baromètre très-imparfait : d'abord le mercure absorbe l'air qui se combine avec sa propre substance : d'une autre part, l'attraction du mercure pour l'air et d'ailleurs la pression de l'atmosphère, sont les deux causes qui retiennent cet air engagé; mais une fois le mercure versé dans le vide barométrique, la pression de l'atmosphère étant supprimée, l'air fait effort pour se dégager et il s'échappe en effet en bulles qui traversent le mercure et viennent créver à sa surface : cet air se répendant dans l'espace vide, contrebalance en partie par son élasticité, la pression exercée par l'air du dehors, et oblige ainsi la colonne à descendre plus bas qu'elle ne descendrait, si le vide intérieur était parfait : ensorte que la hauteur de la colonne n'exprime plus la véritable pression de l'atmosphère. Il faut donc commencer par chasser tout l'air engagé entre les molécules du mercure : c'est à quoi on parvient en chauffant le mercure jusqu'à le faire bouillir; la chaleur augmentant l'élasticité de l'air, le force à se séparer du mercure; on ferme alors avec soin le vase sur lequel on a fait l'opération, et on le laisse refroidir. Il y a aussi une précaution à prendre pour dépouiller le tube de la petite couche d'eau et d'air qui adhèrent fortement à sa paroi intérieure : elle consiste à le chauffer fortement avant d'y verser le mercure purgé d'air par le procédé ci-dessus.

(2) Je connais, en Suisse, un propriétaire fort instruit qui tient ainsi, depuis plusieurs années, un tableau très-exact d'observations barométriques, faites trois fois par jour, avec un fort bon baromètre. Il a eu soin de noter l'état de l'atmosphère, près de chaque observation : or, à l'inspection de ce tableau, on voit que, dans le très-grand nombre des cas, lorsque le baromètre a baissé, il est tombé de la pluie; et au contraire, lorsqu'il s'est élevé, le temps est devenu

Les baromètres ordinaires du commerce, auxquels on joint seulement une indication de l'état du ciel, sans échelle divisée en pouces, sont des instrumens qui ne peuvent servir au physicien; mais ils sont bons pour l'usage auquel on les applique vulgairement, qui est d'indiquer seulement les variations de la pression atmosphérique. En effet, si l'on prend pour point de départ la hauteur moyenne du baromètre dans le lieu où l'on est, lorsqu'il se trouve au-dessus de cette hauteur, le temps est ordinairement serein et constant, et au-dessous il est presque toujours variable.

Mais les variations de l'état du baromètre, ne sont pas égales par toute la terre : sous l'équateur et sur les très-hautes montagnes, il ne varie que très-peu; ses changemens deviennent plus considérables à mesure qu'on s'approche des pôles, et particulièrement dans les contrées basses. C'est à la Géographie physique qu'il appartient encore de donner des éclaircissemens sur ce phénomène.

§ 5. On remarqua aussi, peu de temps après l'invention du baromètre, que le mercure s'y abaisse lorsqu'on le porte sur un lieu plus élevé : en effet, il descend d'une ligne environ pour 78 pieds. D'après cette observation, on peut comparer la pesanteur de l'air avec celle du mercure ou de l'eau; car une ligne de mercure exerce la même pression que 78 pieds d'air; et comme 78 pieds = 11 232 lignes, on voit combien de fois le mercure est plus lourd que l'air. Si l'on divise ce nombre par 14, parce qu'un volume de mercure est 14 fois aussi pesant qu'un égal volume d'eau (*pag.* 111), le quotient 802 indique combien de fois l'eau est plus pesante que l'air (1).

Cette observation a donné aussi naissance à l'idée ingénieuse de mesurer les hauteurs avec le baromètre. Les principes d'après lesquels se fait cette opération, seront exposés dans la suite.

§ 6. On peut déterminer exactement, par le baromètre, la pres-

---

serein. On aperçoit par intervalles des exceptions à cette règle; mais elles sont beaucoup moins nombreuses que les cas dans lesquels elle se vérifie. Cette connaissance peut être fort utile à l'agriculture, et la personne dont je parle en tirait elle-même un très-grand parti.

(1) Nous avons trouvé, M. *Arago* et *moi*, par une expérience fait avec soin, qu'à la température de la glace fondante, et sous la pression de $0^{m},76$, le poids de l'air est à celui de l'eau, comme 1 à 770.

sion qu'exerce l'air sur une surface d'une grandeur donnée. Le calcul suivant se rapporte à une évaluation qui peut faire connaître en même temps, la méthode qu'il faudrait suivre dans un calcul plus exact. Quand le baromètre est élevé de 28 pouces, l'air presse sur la surface d'un pouce carré, autant que presserait le poids d'une colonne de mercure qui aurait un pouce carré de base, et 28 pouces de hauteur : cette colonne comprend donc 28 pouces cubiques. Maintenant comme un pouce cubique d'eau, mesure de Paris, pèse 373,4 grains à 4° (pag. 127 note), un pouce cubique de mercure pèsera $373{,}4 \times 14 = 5228$ grains, ou environ 9 onces; par conséquent, 28 pouces cubiques pèseront 15,9 livres. Telle est donc la pression de l'air sur un pouce carré de Paris, et par conséquent la pression sur un pied carré, est équivalente à 2287 livres, ou près de 23 quintaux (*).

§ 7. Si l'on voulait faire un baromètre avec de l'eau, au lieu de mercure, il faudrait qu'il fût 14 fois plus long. Si l'on multiplie la hauteur moyenne du baromètre, c'est-à-dire, 28 pouces ou $2\frac{1}{3}$ pieds par 14, on a $32\frac{2}{3}$ pieds : l'instrument devrait donc être de 30 et quelques pieds. Par plus d'une raison, un baromètre à eau serait un instrument très-incommode; mais il est important de savoir à quelle hauteur une colonne d'eau peut être portée par la pression de l'air. Par exemple, c'est d'après cette connaissance qu'on conçoit pour-

(*) La pression de l'air sur la surface du corps d'un homme de moyenne grandeur, surpasse trente trois milliers de livres, ou environ seize mille kilogrammes : l'interieur de notre corps est rempli d'air aussi élastique que celui du dehors et qui contre-balance son poids. Si l'on nous déchargeait tout-a-fait et subitement de cette pression, en nous placant dans le vide, l'air intérieur se dilaterait, nous gonflerait et nous ferait infailliblement périr. Il existe dans dans la mer, des poissons qui vivent habituellement à des profondeurs de 2 ou 3 mille pieds au-dessous de la surface et qui supportent ainsi le poids de près de 80 atmosphères, sans en être écrasés; c'est qu'ils sont intérieurement remplis et pénétrés de liquides qui résistent à cette enorme pression; d'ailleurs la plupart d'entr'eux ont une vessie remplie d'un gaz produit et secreté par un résultat de leur organisation : ils périssent à de petites profondeurs. Quant à la facilité des mouvemens sous cette pression, elle tient à ce que le corps du poisson est également pressé par dessus et par dessous, à droite et à gauche; de sorte que la pression se contre-balançant d'elle-même, il lui est ausssi aisé de se déplacer que s'il nageait à la surface.

quoi les tubes aspirans de toutes les espèce de pompes à eau, ne doivent pas excéder la longueur d'une trentaine de pieds.

§ 8. Pour les observations barométriques très-exactes, il faut faire une petit correction à cause de la chaleur; car, puisque la chaleur dilate le mercure, on conçoit que la pression restant la même, si le mercure s'échauffe, la colonne barométrique s'allongera davantage, et son sommet montera plus haut dans le tube qui la soutient. On n'aurait besoin d'aucune correction, s'il était possible de conserver toujours le mercure à une même température, par exemple à 0°; mais comme cela ne se peut, il faut ramener par le calcul, les diverses hauteurs de la colonne de mercure à une température déterminée. On choisit ordinairement, pour cela, la température 0°. D'après les observations de *Deluc*, une colonne de mercure, haute de 27 pouces, se dilate justement d'un demi-pouce, lorsque le baromètre est échauffé de 0 jusqu'à 80° de *Deluc*; ou si l'on divise chaque pouce en 160 parties, la colonne de 27 pouces en contient 4320; et elle se dilate depuis le point de congélation jusqu'à celui d'ébullition, de 80 de ces parties; c'est-à-dire, qu'à chaque degré du thermomètre de *Deluc*, elle se dilate de $\frac{1}{4320}$ de sa longueur. Ainsi, pour réduire une hauteur de baromètre à la température 0°, on doit, pour chaque degré au-dessus de 0, soustraire $\frac{1}{4320}$ de toute la hauteur de la colonne, et en ajouter autant pour chaque degré au-dessous de 0°. Cette règle n'est pas tout-à-fait exacte, mais elle suffit dans presque tous les cas. Pour avoir la température du mercure aussi précisément qu'il est possible, on attache un thermomètre de correction sur la même planchette où est le baromètre (1).

(1) Réellement, lorsque la température du mercure est à t degrés du thermomètre de *Deluc* au-dessus de 0, on devrait, pour la réduire à ce dernier terme, en soustraire non pas $\frac{1}{4320}$, mais $\frac{1}{4320+t}$ de sa longueur pour chaque degré; et lorsque la température est à t degrés et au-dessous de 0, on devrait ajouter $\frac{1}{4320-t}$ pour chaque degré. Car, soit l la longueur de la colonne à zéro, l' sa longueur, à t degrés, on aura

$$l\left(1+\frac{t}{4320}\right)=l',$$

La Machine Pneumatique.

§ 9. Dans l'année 1650, *Guericke de Magdebourg* inventa un des instrumens de physique les plus importans, la *Machine Pneumatique* au moyen de laquelle on peut enlever tout l'air qui se trouve dans une vase, ou, du moins, on peut le raréfier à un très-haut degré. Les bornes de cet ouvrage ne nous permettent par de décrire sa construction primitive, ni les divers changemens qu'on y a faits dans la suite : on peut voir ces détails dans *Gehler* et *Fischer*, article *Luftpumpe*. Nous allons seulement indiquer ici les parties essentielles du plus simple appareil de ce genre. ABDC, (*fig.* 51), est un cylindre de métal qui doit être calibré avec une exactitude extrême : le piston EF peut être élevé et abaissé dans l'intérieur de ce cylindre, au moyen de la poignée G, sans que l'air puisse y pénétrer : ce piston est percé dans le milieu en HI ; un morceau de taffetas gommé est tendu en H, au-dessus de l'ouverture, et attaché à ses deux bouts, de sorte que l'air qui vient de dessous par l'ouverture HI, puisse le lever et s'échapper, et que l'air qui vient d'en haut le presse contre l'ouverture, et se bouche ainsi lui-même le passage. Cet appareil, adapté au piston, se nomme une *soupape*. Dans le fond du cylindre, il se trouve une seconde soupape de cette espèce, qui laisse passer

---

d'où l'on tire

$$l = \frac{l'}{1 + \frac{t}{4320}} = l' - \frac{l' t}{4320 + t}.$$

La vraie valeur de la dilatation du mercure, trouvée par MM. *Lavoisier* et *Laplace*, est $\frac{1}{5412}$ pour chaque degré du thermomètre centigrade. Cette évaluation ne s'éloigne pas beaucoup de celle de *Deluc;* car si la dilatation est de $\frac{1}{5412}$ pour chaque degré du thermomètre centésimal, elle sera plus grande pour un degré de *Deluc*, dans la proportion que ces degrés ont entr'eux, c'est-à-dire, comme 10 à 8 ; elle deviendra donc $\frac{10}{8 \times 5412}$ ou $\frac{10}{43296}$, fraction qui, étant divisée haut et bas par 10, se réduit à $\frac{1}{4330}$.

l'air de dessous dans le cylindre, mais qui ne lui permet pas de revenir; l'ouverture de cette soupape correspond avec le tube KLMN; et à l'extrémité N de ce tube, on assujétit un plateau de glace dépolie OP : mais l'ouverture du tube s'élève un peu au-dessus du plateau en N, et l'on y place extérieurement une vis pour pouvoir la boucher, s'il est nécessaire. Dans la plupart des expériences, on pose sur le plateau un récipient de verre Q, dont les bords sont usés à l'émeri, pour qu'ils puissent s'appliquer exactement contre le plateau de glace : alors il suffit de presser un peu le récipient, en le posant sur le plateau, pour qu'il y adhère.

Enfin, on fait encore à quelque endroit du tube, par exemple en L, une ouverture qu'on ferme avec un bouchon usé à l'émeri, ou mieux encore avec une vis bien exacte, afin de pouvoir établir à volonté une communication entre le tube et l'air extérieur.

Au lieu des deux soupapes, il y a dans quelques machines pneumatiques, un simple robinet placé dans le tube KL, immédiatement au-dessous du cylindre : on le perce de manière qu'on peut faire, si l'on veut, communiquer ensemble le cylindre et le tube, ou le cylindre et l'air extérieur, ou enfin l'air extérieur et le tube. Cette disposition a quelques inconvéniens, mais elle a aussi de certains avantages.

§ 10. Supposons le récipient placé, l'ouverture en L fermée, et le piston abaissé jusqu'au fond du cylindre : si l'on élève ce dernier, il se fait un espace vide au-dessous de lui; l'air qui se trouve dans la cloche et dans le tube, n'éprouvant ainsi aucune contre-pression au-dessus de la soupape K, ouvre cette soupape, et se répand en partie dans le cylindre : de cette manière, la masse d'air renfermée se trouve déjà raréfiée. Si l'on enfonce de nouveau le piston, l'air qui est entré dans le cylindre, ne peut pas retourner dans le tube, mais il s'échappe par la soupape du piston. Si l'on continue d'élever et d'abaisser successivement le piston, il passe, à chaque fois qu'on l'élève, quelque peu d'air du récipient dans le cylindre, et à chaque fois qu'on l'abaisse, l'air passé dans le cylindre est chassé au-dehors. L'air est donc de plus en plus raréfié. Cependant, il est impossible de faire le vide parfait; car, après un certain temps, on arrive à un point où l'on ne peut plus produire aucun effet : c'est lorsque l'air est si raréfié, que sa force n'est pas suffisante pour élever la soupape

K. Quand on veut faire rentrer l'air extérieur dans le récipient, on ôte le bouchon placé en L (1).

§ 11. Une partie de la machine pneumatique, qui est très-nécessaire pour les expériences exactes, c'est un petit baromètre à siphon, ou *éprouvette*, qui consiste en un tube recourbé ABC, (*fig.* 52), dont l'une des branches AB est fermée, et l'autre BC est ouverte. L'espace ABF est rempli de mercure; et comme tout l'instrument est seulement haut d'environ cinq à six pouces, la pression de l'air dans la branche ouverte, fait monter le mercure dans l'autre, jusqu'au sommet A. Ce tube est attaché à un petit support, de manière qu'on peut le poser sur le plateau de la machine, et placer le récipient par dessus : entre les deux branches du tube, se trouve une échelle DE qui est divisée en pouces et en lignes. Lorsque l'on met cet appareil sous le récipient, tandis qu'on fait le vide, on s'aperçoit bientôt que l'air ne presse plus assez le mercure pour le faire monter jusqu'en A; il descend donc de ce côté, et s'élève au-dessus de F; de sorte qu'au moyen de l'échelle, on peut voir à chaque instant quelle est la hauteur de la colonne de mercure à laquelle l'air raréfié fait encore équilibre.

Cet instrument indique proprement la pression que l'air raréfié exerce par sa dilatabilité; mais nous verrons dans le chapitre suivant qu'elle est proportionnelle à la raréfaction elle-même. Si l'on compare la colonne de mercure à laquelle équivaut l'air raréfié, avec la hauteur du baromètre, on trouve le rapport de la raréfaction. Supposons que le baromètre soit à la hauteur de 28 pouces, et que l'éprouvette, placée sous le récipient, marque 6 lignes ou $\frac{1}{2}$ pouce; on en conclut que l'air est raréfié dans le rapport de $\frac{1}{2}$ à 28, ou de 1 à 56. Les

(1) On voit, d'après cela, que tous les changemens qui tendront à rendre la soupape plus sensible, on même à la remplacer tout-à-fait, comme on peut le faire, par exemple, par des plateaux polis, glissant l'un sur l'autre, doivent être autant d'améliorations à la machine, et lui donner une plus grande force d'exhaustion. Rien de plus parfait, à cet égard, que les machines pneumatiques que construit *Fortin*, à Paris : elles font le vide avec une telle exactitude, que la tension indiquée par l'éprouvette, n'est jamais que celle inévitablement produite par la vapeur d'eau qui se dégage toujours des parois des vases où elle était attachée.

machines pneumatiques où l'air peut être raréfié jusqu'à ce que l'éprouvette n'indique plus qu'une élévation de 1 ligne $\frac{1}{2}$ à 2 lignes, son considérées comme de très-bons instrumens (1). Ordinairement on est satisfait quand l'air intérieur, dans sa plus grande raréfaction, n'exerce plus qu'une pression équivalente à 4 à 5 lignes de mercure.

§ 12. Au lieu de poser cette éprouvette sous le récipient, il vaut encore mieux l'adapter à la machine elle-même. Pour cela, la branche ouverte du tube doit s'élever plus que l'autre, et être pourvue d'un robinet : cette extrémité ouverte doit correspondre, par quelque moyen, au tube LM. (*fig.* 51) dans lequel l'air est raréfié de même que dans le récipient ; de sorte que quand le robinet est ouvert, l'éprouvette communique librement avec ce tube. Cet appareil a l'avantage qu'on peut connaître la raréfaction de l'air dans telle espèce de vase qu'on veuille placer sur le plateau, au lieu du récipient (2).

§ 13. On a objecté contre l'emploi de l'éprouvette, qu'elle ne peut donner aucun résultat exact, parce que l'humidité toujours adhérente au plateau de glace et aux parois des récipiens, produit des vapeurs élastiques tandis qu'on fait le vide, et que, par conséquent, ce qu'on observe n'est pas le simple effet de l'air raréfié : mais, outre que cette quantité peut se calculer par la formule que M. *de Laplace* a déduit des expériences de *Dalton*, on peut, si on veut l'évaluer avec tout le soin nécessaire, employer l'éprouvette de *Smeathon*, dont on trouve la desription dans *Gehler* et *Fischer*, sous le nom de *Birnprobe* (3).

---

(1) Nous avons souvent employé, M. *Arago* et *moi*, une machine faite par *Fortin*, qui fait le vide jusqu'à un millimètre ou un millimètre et demi en hiver, lorsque le temps est froid, et que la tension inévitable dûe à la vapeur d'eau, est peu considérable : c'est un peu moins qu'une demi-ligne.

(2) On a même soin, dans de bonnes machines, d'avoir un baromètre entier qui communique avec leur intérieur, afin de connaître ainsi, à chaque instant, la raréfaction de l'air, que l'éprouvette n'indique que lorsqu'elle est très-considérable.

(3) C'est un petit matras de verre, auquel sont soudés deux tubes de verre opposés l'un à l'autre, et dont l'un est ouvert, l'autre fermé hermétiquement à son extrémité, et divisé en parties égales : tous deux communiquent au matras. Cet instrument est suspendu dans le récipient, et le vide s'y fait comme dans tout le reste de l'appareil. Alors, au moyen d'une tige de métal qui traverse une boîte à cuirs, et qui peut être ainsi introduite sous le récipient, on plonge

La Pompe de compression.

§ 14. On peut seulement raréfier l'air au moyen de la machine qu'on vient de décrire : pour le condenser, l'instrument peut être encore plus simple. Le piston EF (*fig.* 51) n'a pas besoin de soupape ; mais il suffit que l'air puisse pénétrer dans le cylindre par une petite ouverture percée dans sa paroi latérale, immédiatement au-dessous du point le plus élevé où le piston puisse atteindre. La soupape K doit être disposée de manière à ce que l'air puisse passer du cylindre dans le tube KL, mais à ce qu'il ne puisse pas revenir. Si l'on veut comprimer l'air dans un récipient, il faut ajouter un appareil pour fixer ce récipient très-fortement sur le plateau, parce qu'autrement la force de l'air comprimé le renverserait. On doit aussi avoir soin de n'employer, pour ces expériences, que des vases très-solides, parce qu'ils sont fort exposés à se rompre. Pour connaître le degré de condensation de l'air, on adapte au récipient un baromètre beaucoup plus long que ceux qui servent pour la pression ordinaire de l'atmosphère.

Sur les propriétés mécaniques de l'Air.

§ 15. Les propriétés mécaniques de l'air, qui sont, ainsi que lui, non perceptibles pour nos sens, se manifestent par leurs effets au moyen du baromètre et de la machine pneumatique. Toutes les propriétés mécaniques de chaque gaz, peuvent se réduire à deux, la *pesanteur* et la *dilatabilité*. Ce qui concerne la première, a été exposé suffisamment ci-dessus (chap. VII, pag. 20 et suiv.); et ensuite, en traitant du baromètre (pag. 169 et suiv., §§ 2 — 6), il a été prouvé qu'elle est au nombre des propriétés de l'air atmosphérique. Nous devons donc parler premièrement de la dilatabilité de l'air.

---

l'orifice ouvert dans un vase qui contient du mercure, et on laisse rentrer l'air dans le récipient. Cet air ne pouvant pas rentrer dans l'éprouvette, y fait monter le mercure qui condense l'air et précipite la vapeur qui peut y être restée. L'air ainsi refoulé, occupe dans le tube gradué une petite place dont on juge par l'échelle des parties égales ; et comme la vapeur d'eau a été précipitée, en grande partie, par la condensation de l'espace, il ne reste que la tension produite par l'air ; seulement cette tension est réduite proportionnellement à la pression de l'atmosphère.

A. *Dilatibilité de l'Air.*

§ 16. La dilatabilité de l'air consiste en ce que tout volume d'air renfermé, montre une tendance à se dilater dans un plus grand espace. Comme chaque liquide exerce par sa seule pesanteur, une pression contre les parois du vase qui le renferme, de même chaque volume d'air, si petit qu'il soit, presse également toutes les parois qui le contiennent, par la force de sa dilatabilité : cette force est d'autant plus considérable, que le volume d'air est plus condensé. Un liquide n'a besoin d'être contenu que par le fond et sur les côtés; un fluide aériforme doit l'être de toutes parts. La plus petite masse d'air se dilate dès qu'on lui en laisse la possibilité, et se répand dans tout l'espace qui lui est offert. Même à l'état de la plus forte raréfaction que nous sachions produire, l'air exerce encore contre les parois qui le contiennent, une certaine pression qui peut être mesurée avec l'éprouvette. Réciproquement toute masse d'air peut être comprimée dans un espace moindre que celui qu'elle occupe; seulement elle produit une pression d'autant plus considérable contre les parois qui la retiennent, qu'elle est condensée plus fortement.

Aucune expérience immédiate ne peut faire décider quelles sont les limites de cette condensation et de cette raréfaction, ou même s'il en existe. Quant à la loi qui donne les rapports de la densité et de la dilatabilité, elle ne sera examinée que dans le chapitre suivant. Au contraire, la dépendance qui existe entre la pression et la dilatabilité, est claire en elle même. Dans l'état de l'équilibre, elles doivent être en rapports égaux; car si l'on suppose l'air comprimé dans un cylindre au moyen d'un piston, la force de pression doit, pour que le piston reste en repos, être justement aussi grande que la force que lui oppose l'air dilatable. Par conséquent, si l'air est contenu de tous côtés par des parois solides, ces parois, selon la troisième loi de *Newton* (pag. 19, § 8), doivent résister avec une force égale à celle que l'air dilatable exerce contre elles : si leur force de cohésion est plus faible que cette pression, elles se brisent.

Puisque la pression qu'exerce une masse d'air, peut être mesurée par le baromètre, nous avons en même temps, de cette manière, une mesure pour la dilatabilité.

§ 17. (*) « Si l'on prend (*fig* 53), un vase profond AB ouvert par le haut, qu'on le remplisse de mercure, que l'on introduise dans son intérieur un tube CD fermé par en haut et ouvert par en bas et aussi rempli de mercure, excepté le volume d'air occupant l'espace C*a*, et si l'on enfonce les deux tubes l'un dans l'autre, jusqu'à ce que le mercure soit au même niveau dans le petit tube et dans le vase, il est évident que l'air intérieur au petit tube, n'éprouvera aucune pression de la part du mercure, et que, dans cet état, il occupera le volume déterminé par la pression atmosphérique ordinaire, puisque les poids des colonnes de mercure se font équilibre. Mais si l'on vient à élever peu-à-peu le tube CD, le mercure intérieur à ce petit tube, s'élevera avec lui, et en même temps le volume de l'air intérieur augmentera ; si l'on s'arrête au moment où la colonne de mercure du petit tube, sera élevée de 14 pouces au-dessus de son niveau dans le grand vase, on trouvera que le volume d'air dans le tube, a doublé : en effet, la colonne de mercure de 14 pouces, élevée dans le petit tube, représente et emploie la moitié de la pression atmosphérique exprimée par 28 pouces; l'autre moitié réagissant contre l'air primitivement renfermé dans l'espace C*a*, le volume de cet air doit donc devenir double et son élasticité devient moitié moindre. C'est ainsi que se vérifie la loi de *Mariotte* que nous ferons bientôt connaître, soit au-dessus, soit au-dessous des pressions atmosphériques ordinaires. »

On voit par là combien il est facile de donner à une masse d'air renfermée, une dilatabilité égale à celle de l'air extérieur ou à sa pression. Les différens gaz agissent de même que l'air atmosphérique dans les mêmes circonstances.

§ 18. Au moyen de la machine pneumatique, on peut observer la dilatabilité de l'air de plus d'une manière, et avec des raréfactions et des condensations très-considérables.

1.° L'opération de la raréfaction et de la compression, démontre déjà par elle-même la dilatabilité de l'air.

2.° Une vessie dont on a ôté presque tout l'air, s'enfle lorsqu'on l'enferme sous un récipient où l'on fait le vide.

(*) On a cru devoir substituer ce paragraphe à celui de l'auteur.

3.° On nomme *ballon de Héron*, un vase fermé AB, (*fig.* 54), dont la forme est arbitraire, qui est environ à moitié rempli d'eau et auquel on joint un tube CD dont l'ouverture inférieure touche presque au fond, et dont l'ouverture supérieure se termine par une pointe assez fine. L'orifice OO du vase est exactement bouché partout, excepté dans l'endroit où passe le tube. Si dans un tel instrument, l'air est d'abord condensé au-dessus de l'eau, au moyen du souffle ou d'une pompe de compression, lorsqu'ensuite on le laisse revenir sur lui-même, l'eau est chassée par l'ouverture D, et jaillit d'autant plus haut que l'air intérieur est plus condensé. Si l'on met un petit ballon de *Héron* avec de l'air non condensé, sous le récipient de la machine pneumatique, et qu'on raréfie l'air extérieur, on obtient les mêmes effets.

4.° La force de l'air comprimé se remarque d'une manière frappante dans l'effet du fusil à vent. (*Voyez Gehler* et *Fischer*, art. *Windbüsche*) (1).

B. *Pression de l'Air.*

§ 19. Puisque la pression de l'air et sa dilatabilité sont toujours en rapports égaux (pag. 180, § 16), c'est la même chose de dire que la pression que l'air exerce sur une surface quelconque, est l'effet de la pesanteur de l'atmosphère, ou qu'elle est produite par la dilatabilité de l'air. L'air qui nous environne est pressé par tout le poids de l'atmosphère, et il acquiert ainsi, dans chaque point, une dilatabilité qui est égale au poids qui le comprime : cette force de dilatation doit être toujours la même pour des hauteurs égales. Par conséquent, à d'égales hauteurs au-dessus de la surface terrestre, le baromètre doit aussi s'élever au même degré, soit à l'air libre, soit dans les espaces renfermés, pourvu que ceux-ci aient la plus petite communication avec l'air extérieur, et que les lieux où l'on observe ne soient pas trop éloignés les uns des autres. La force de cette pression a déjà été déterminée (pag. 172, § 6.)

---

(1) On trouve une infinité de jeux physiques qui se rapportent à l'effet de la raréfaction et de la condensation, dans les *Leçons d'Adam sur la Physique expérimentale*, traduit de l'anglais en allemand par *Geistler*, Leipsick, 1798, tom. I, pag. 50 — 67.

§ 20. Au moyen de la machine pneumatique, on peut observer cette pression de diverses manières :

1.° Si l'on place sur le plateau de la machine pneumatique un cylindre de métal ouvert par les deux extrémités, et qu'on attache une vessie sur son ouverture supérieure, cette vessie sera fortement comprimée, et même rompue, lorsqu'on fera le vide au-dessous d'elle. Un plateau de verre qu'on assujétirait sur le cylindre avec de la cire, serait brisé encore plus facilement.

2.° Si l'on pose sur le plateau un cylindre de verre ouvert par les deux extrémités, et qu'on ferme l'ouverture supérieure avec un vase de bois disposé exprès et rempli d'eau, lorsqu'on fait le vide, l'eau pressée par le poids de l'air extérieur, pénètre à travers le bois, et tombe goutte à goutte. Dans les mêmes circonstances, le mercure s'échappe comme une fine pluie d'argent.

3.° Le phénomène qu'on observe au moyen des *Hémisphères de Magdebourg*, se rapporte sur-tout à ceci. Deux hémisphères de métal sont disposés de manière que leurs bords peuvent se joindre très-exactement; à l'un est attaché un fort anneau, à l'autre un robinet qui peut être vissé à la machine pneumatique ; on enduit les bords avec quelque substance grasse, de sorte que l'air ne peut s'introduire entre les deux hémisphères. Tant que l'air intérieur a la même dilatabilité que l'air extérieur, on peut les séparer très-facilement; mais si l'on fait le vide intérieurement, ils tiennent si fortement ensemble par la pression de l'air extérieur, qu'il faut un grand poids pour les séparer : on peut évaluer ce poids en livres, en multipliant par 50 le carré du diamètre de la sphère, exprimé en pouces (1).

---

(1) Si le diamètre de la sphère est r, le plan du grand cercle où doit se faire la séparation, sera $= r^2\pi$, π étant la demi-circonférence dont le rayon est l'unité. Si r est donné en pouces, πr^2 est la surface exprimée en pouces carrés. La pression de l'air sur chaque pouce carré, est environ de 16 livres (pag. 172, § 6) : par conséquent la pression totale $= 16r^2\pi$; mais 16π est égal à 50,24, puisque $\pi = 3,14$. Ce résultat est toujours un peu plus fort que la pression véritable, parce qu'on ne peut pas épuiser exactement tout l'air ; mais il est augmenté par la cohésion des hémisphères qui adhèrent fortement l'un à l'autre par leur attraction, indépendamment de l'action de l'air.

On voit, dans la *Physique expérimentale d'Adam*, des expériences qui se rapportent à ceci, tom. I, pag. 17—33.

4.° Les différentes espèces de baromètres à siphon, offrent des phénomènes qui ne peuvent être expliqués que par la pression de l'air. (*Voyez*, dans *Gehler* et *Fischer* les articles *Heber* et *Stechheber.*)

C. *Pesanteur de l'Air.*

§ 21. Si l'air est un fluide pesant, chaque corps qui s'y trouve plongé, doit perdre autant de son poids que pèse la partie de fluide dont il occupe la place (pag. 125, § 9). Ainsi, qu'on attache à une petite balance très-sensible, un corps léger et qui a beaucoup de volume, par exemple un morceau de liège, et qu'on le mette en équilibre; qu'on place ensuite la balance sous le récipient de la machine pneumatique, et qu'on fasse le vide, le corps tombe sensiblement, parce qu'il perd d'autant moins de son vrai poids, que l'air environnant est plus raréfié.

En pesant un corps dans l'air, on trouve son poids trop petit, quand sa densité est moindre que celle du poids qu'on lui oppose, parce qu'alors son volume étant plus considérable que celui du poids qui l'équilibre, il perd une plus grande partie de son poids: on le trouve un peu trop fort dans le cas opposé, et tout-à-fait exact quand sa densité est égale à celle de la matière dont est formé le poids.

§ 22. Pour peser l'air exactement, on se sert d'un ballon de verre aussi léger qu'il est possible, et d'environ 5 à 6 pouces de diamètre : à son orifice est adapté un robinet au moyen duquel il peut être vissé sur le plateau de la machine pneumatique. L'espace cubique compris dans le ballon, après que le robinet est fermé, doit être déterminé de la manière la plus exacte (p. 120, § 9). On fait le vide ensuite aussi parfaitement qu'il est possible; on ferme le robinet, on enlève le ballon, et on le pèse avec une balance très-exacte; on ouvre alors le robinet, et on laisse le ballon se remplir d'air; il devient ainsi plus pesant, et l'on estime avec précision à combien de grains monte cette augmentation. De cette manière, on connaît le poids de l'air que contient le ballon : en divisant ce poids par la capacité du ballon, exprimée en pouces cubiques, on a le poids d'un pouce cubique d'air.

Si l'expérience doit être extrêmement précise, il faut joindre à la machine pneumatique une éprouvette qui indiquera combien de pouces

cubiques d'air sont restés dans le ballon, afin de les soustraire de la capacité cubique du ballon.

En outre, comme la pesanteur de l'air varie avec l'état du baromètre et du thermomètre, l'expérience doit être faite à une hauteur déterminée de ces deux instrumens, si l'on ne veut faire aucun calcul de réduction. On choisit ordinairement pour cela une température de 10° de *Deluc*, et une hauteur de 28 pouces de Paris : mais il vaut mieux recourir aux réductions, car il est presque impossible de réunir exactement ces deux circonstances. (*Voyez* la *Physique* de *Biot*, tome I.)

D. *Poids spécifiques des autres Gaz.*

§ 23. Après que le ballon est pesé, si l'on y fait entrer quelque autre gaz, on peut en trouver le poids de la manière indiquée dans l'article précédent. On peut de même diviser ce poids en pouces cubiques, et nous avons déjà remarqué en un autre endroit (pag. 21, § 5) que c'est ainsi qu'on exprime habituellement le poids spécifique des gaz.

§ 24. Nous allons donner les poids spécifiques de quelques gaz, d'après les expériences de *Lavoisier*, faites à une hauteur barométrique de 28 pouces, et à 10° de *Deluc*.

	Poids d'un pouce cubique de Paris, en grains de Paris.	Poids d'un pouce cubique duodécimal de Brandebourg, en grains d'Allemagne.
Air atmosphérique............	0,46005	0,3550
Azote......................	0,44444	0,3430
Oxigène....................	0,50604	0,3912
Hydrogène..................	0,03539	0,0273
Acide carbonique............	0,68985	0,5324

Voyez le *Système de Chimie* de *Lavoisier*.

Si l'on voulait réduire ces poids spécifiques au poids de l'eau, on n'aurait qu'à diviser les nombres de la dernière colonne, par 288, pour les poids de Brandebourg (1), et par 373,4 pour les poids de

(1) La réduction des poids et mesures français en poids et mesures d'Allemagne, et réciproquement, peut se faire d'après la formule suivante : si *N* est le

Paris, parce que ces quantités expriment le poids d'un pouce cubique d'eau (*)

§ 25. Une autre manière très-commode de déterminer le poids et la densité d'une masse d'air dans certaines circonstances, est l'emploi du *Manomètre* de *Guericke*, sur-tout lorsqu'il est construit d'après les perfectionnemens que *Fischer* et *Gehler* y ont apportés : on nomme aussi cet instrument une *Balance à air*. (*Voyez Gehler*, III, 135; V, 623; et *Fischer*, art. *Manomètre*.)

CHAPITRE XXX.

De l'équilibre de l'Air, ou premiers fondemens de l'Aérostatique.

§ 1. Tant que l'air est considéré comme un fluide pesant, les lois essentielles de l'Hydrostatique doivent y être applicables. Ainsi,

1.° Chaque pression se propage également de tous côtés dans l'air, de même que dans un liquide (pag. 121, § 1) (**).

2.° Dans l'état d'équilibre, la pression doit être égale sur tous les points de chaque plan horizontal; seulement, à cause de la grande légèreté de l'air, cette pression doit diminuer, à mesure qu'on s'élève, beaucoup plus lentement que dans les liquides (pag. 121, § 2). Mais

---

nombre de grains de Paris, que pèse un pouce cubique de Paris, un pouce cubique duodécimal de Brandebourg, pèsera 0,772 N grains d'Allemagne, poids de médecine. Au contraire, si N est le nombre de grains d'Allemagne, que pèse un pouce cubique duodécimal de Brandebourg, le poids d'un pouce cubique de Paris, en grains de Paris, est = 1,2958 N. (*Voyez*, pour ces réductions, les rapports des mesures, donnés pag. 108.)

Pour connaître toutes les précautions qu'il faut prendre afin d'obtenir avec exactitude les pesanteurs spécifiques de l'air et des gaz, on peut consulter le *Traité de Physique* de *Biot*, tom. I, pag. 347 et suivantes.

(*) On peut rapprocher cette table de celle qui a été donnée pag. 154, note.

(**) On trouve dans *Mariotte* (Traité du mouvement des eaux, Pag. 93) une expérience aussi simple que curieuse qui met dans la plus grande évidence cette propriété de l'air.

la loi de ce décroissement, n'est pas la même pour l'air et pour les liquides, ainsi que nous le dirons par la suite.

3.° La pression de l'air sur une surface donnée, peut se déterminer de la même manière que dans l'Hydrostatique; c'est-à-dire, qu'elle est égale au poids d'un prisme de mercure dont la base est le plan comprimé, et dont l'élévation est déterminée par la hauteur barométrique. Mais à cause de la lente diminution de la pression de l'air, on ne remarque aucune différence, soit que le plan comprimé se trouve horizontal, vertical ou oblique, à moins qu'il ne soit d'une grandeur très-considérable. Il n'y a non plus aucune différence, soit que la pression provienne de l'air libre ou d'une masse d'air renfermée, pourvu que celle-ci ait la même dilatabilité que l'air extérieur (pag. 179, § 16). On trouve ci-dessus (pag. 183, § 21), des données pour évaluer facilement la pression.

4.° Chaque corps qui se trouve dans l'air, perd autant de son poids que pèse l'air déplacé par lui, ainsi que nous l'avons vu ci-dessus (pag. 183, § 21).

5.° Un corps qui est plus léger qu'un égal volume d'air atmosphérique, s'élève dans celui-ci jusqu'à la hauteur où il est en équilibre avec l'air environnant qui, ainsi que nous le verrons avec détail par la suite, devient toujours plus rare en s'élevant. — Sur cela est fondée la théorie des *Aérostats* ou *Ballons*, aussi bien de ceux dans lesquels on raréfie l'air par la chaleur, selon la méthode de *Montgolfier*, que de ceux qui sont remplis d'hydrogène, suivant celle de *Charles*.

On trouve dans *Gehler* et *Fischer* des notices historiques sur cette découverte, et des détails sur sa théorie. (Art. *Aérostat.*)

Loi de Mariotte, *ou rapport de la pression et de l'élasticité avec la densité ou le poids spécifique.*

§ 2. Tous les effets de la dilatabilité établissent une différence fondamentale entre les fluides élastiques et les liquides. Parmi ces effets, on doit sur-tout remarquer le décroissement de densité dépendant de la hauteur. Les couches d'air inférieures sont pressées par tout le poids de l'atmosphère : dans les parties élevées, ce poids devient de plus en plus faible, et par conséquent aussi la densité de l'air diminue. Mais pour trouver la loi suivant laquelle décroît la densité, il faut déter-

miner d'abord par des expériences quel est, en général, dans une masse d'air, le rapport de la pression à la densité.

§ 3. La loi suivante, qui est extrêmement simple, se trouve confirmée par toutes les expériences qu'il nous est possible de faire.

La densité d'une masse d'air croît et décroît en proportion égale avec la pression, à moins qu'il n'arrive quelque changement dans la température, ou dans la combinaison chimique de la masse d'air.

Comme la pression et la dilatabilité sont toujours égales entre elles (pag. 179, § 16), et que la densité et le poids spécifique sont deux expressions qui signifient une même chose, c'est seulement exprimer différemment la même loi, que de dire :

La dilatabilité d'une masse d'air est proportionnelle à son poids spécifique, tant que sa température et sa combinaison chimique sont les mêmes.

Ce principe important et particulier à l'Aérostatique, se nomme la *loi de Mariotte*, quoiqu'il ait été trouvé en Angleterre, par *Robert Boyle* et par son élève *Townley*, un peu avant que *Mariotte* l'eut découvert à Paris. (Voyez *Gehler*, III, 9—16; *Fischer*, III, 310, 317.)

Les expériences qui ont servi à déterminer l'exactitude de cette loi, sont, en peu de mots, les suivantes :

Pour mesurer la condensation de l'air par la pression, on se sert d'un tube de verre qui est recourbé comme un baromètre à siphon, (*fig.* 50), seulement avec la différence que la branche courte est fermée en G, et que la longue branche est ouverte en A : il est même convenable de donner à cette dernière branche une longueur de plusieurs pieds. L'air renfermé entre G et CD, sera comprimé à la fois par la colonne de mercure EF, et par l'air extérieur, puisque A est ouvert, et cette dernière pression est égale à la hauteur barométrique. Si donc l'on remplit peu-à-peu la longue branche avec du mercure, et qu'on mesure toujours l'espace qu'occupe l'air renfermé, on voit facilement comment on peut comparer la pression et la densité ; car la densité est en rapport inverse de l'espace CG, occupé par l'air.

Pour mesurer la raréfaction de l'air, produite par une diminution de pression, on se sert d'un tube de baromètre droit, qui est ouvert à son extrémité inférieure, et muni d'un robinet à son autre extrémité. Ce robinet étant ouvert, on plonge le tube par son orifice inférieur, dans un vase rempli de mercure, le robinet supérieur étant

ouvert, et on l'enfonce jusqu'à ce qu'il ne reste environ qu'un pouce ou deux d'air dans le tube; alors on ferme le robinet et on élève le tube peu-à-peu : à mesure qu'on l'élève, l'air renfermé se dilate; mais au-dessous de lui il s'élève aussi une colonne de mercure qui excède la surface du mercure extérieur. On mesure de temps en temps l'espace que comprend l'air renfermé, et la hauteur de la colonne de mercure qui s'élève dans le tube. La force avec laquelle l'air renfermé est pressé, se trouve toujours égale à la hauteur barométrique, moins la colonne de mercure qui s'élève dans le tube. La pression et la densité peuvent donc aussi être comparées dans ces circonstances, comme dans l'expérience précédente (*).

Pour faire en petit des expérience de ce genre, on se sert d'un tube de baromètre un peu long, AB, (*fig.* 55), qui est ouvert en A, fermé en B, et dont le diamètre intérieur est d'environ $\frac{1}{2}$ ligne : ce tube doit être d'une largeur égale, sur-tout depuis son sommet A jusqu'à la moitié de sa longueur; on doit y ajouter une échelle divisée en pouces; on introduit dans ce tube une colonne de mercure d'environ 5 à 6 pouces de longueur, ce qui se fait en chassant, par le moyen de la chaleur, une portion de l'air renfermé. Supposons que la colonne de mercure occupe à-peu-près le milieu du tube. Si l'on tient celui-ci dans une position verticale, l'extrémité ouverte A, étant dirigée vers le haut, la pression que supporte l'air renfermé BD,

---

(*) Il suit des principes établis, que si l'on prend à la surface de la terre, une certaine quantité d'air dont le ressort fera par conséquent équilibre à une pression d'environ 76 centimètres de mercure, et qu'on introduise cet air dans un espace vide où il puisse se dilater, et par exemple, dans un baromètre, cet air parvenu dans l'espace vide au-dessus du mercure, s'étendra pas son ressort, et fera baisser le mercure, jusqu'à ce que sa force de ressort, jointe au poids de ce qui restera de mercure dans le tube, fasse équilibre à la pression de l'atmosphère. Soient h la hauteur du tube, à partir de la ligne de niveau, p la pression de l'atmosphère, n la quantité d'air ou la partie de la hauteur du tube qu'ocuperait ce fluide, s'il conservait sa densité primitive, et soit x la hauteur à laquelle le mercure s'arrêtera après la dilatation de l'air : $h - x$ sera la partie de la hauteur du tube, dans laquelle l'air se répandra en se dilatant : Or, les espaces occupés par l'air dans ses deux états, étant en raison inverse des densités, on aura $h - x : n = p : \frac{np}{h - x}$ pour expression de la densité ou de la force de l'air dilaté : mais cette pression

est égale à la pression de la colonne de mercure CD, jointe à la hauteur barométrique. Au contraire, si l'on retourne le tube de manière que l'extrémité ouverte soit dirigée vers le bas, la pression supportée par l'air intérieur, devient égale à la hauteur du baromètre, moins la colonne de mercure CD. Dans la position horizontale, elle est justement égale à la hauteur du baromètre. On peut donc, dans ces trois cas, comparer la pression avec l'espace occupé par l'air renfermé. Un tel instrument est, dans ses parties essentielles, semblable au *manomètre* de *Varignon* ou de *Wolf*.

On voit des descriptions très-exactes de plusieurs expériences de ce genre, dans *Gehler* et *Fischer*, aux endroits indiquées à la pag. 171 (1).

§ 4. L'importance de la loi de *Mariotte* exige que l'on connaisse exactement quelles en sont les limites et les conditions.

1.° Pour l'air atmosphérique, on l'a trouvé exacte jusqu'à une condensation octuple, et par-delà une raréfaction centuple. Nous ne pouvons pas décider *si elle est exacte pour toutes les condensations et toutes les raréfactions imaginables* : les partisans du système des atomes, doivent le nier, tandis que ceux qui suivent le système dynamique, n'y voient aucun obstacle. Pour l'usage, il suffit de savoir que cette loi est applicable dans toutes les expériences que nous pouvons faire.

---

augmentée de x qui exprime celle du mercure, doit faire équilibre à la pression de l'atmosphère : on a donc l'équation

$$\frac{np}{h-x} + x = p, \text{ d'où } x^2 - (h+p)\,x = (n-h)\,p\ ;$$

résolvant, on obtient

$$x = \frac{h+p}{2} \pm \tfrac{1}{2}\sqrt{4np + (h-p)^2}.$$

Faisons $h = 90^{\text{cent}}$, $p = 76^{\text{cent}}$, $n = 8{,}25^{\text{cent}}$, on aura $x = 57$ et $x = 109$. La première valeur convient à la supposition présente et elle donne $p - x = 76 - 57 = 19^{\text{cent}}$ pour mesure de la force ou du ressort de l'air dilaté : ainsi le mercure descendra de 19 centimètres ; en sorte que l'espace occupé par l'air dilaté, sera $(90 - 76) + 19 = 14 + 19 = 33^{\text{cent.}}$ La seconde valeur de x, est relative à une autre question.

(1) Pour faire ces expériences avec exactitude, il faut que l'air et les tubes soient parfaitement desséchés.

2.° On n'a fait d'expériences immédiates que par des températures moyennes. Mais c'est une conséquence nécessaire des expériences de *Gay-Lussac* et de *Dalton* (pag. 18, § 13), *que la loi demeure exacte sous toutes les températures*; car, si dans les deux masses d'air A et B, dont les propriétés chimiques et les températures moyennes sont égales, la densité est proportionnelle à la pression, la raison de cette proportionnalité doit rester la même par toutes les températures, puisque les masses d'air sont dilatées également par la chaleur.

3.° Ces expériences sur les pressions n'ont été faites qu'avec l'air atmosphérique, et il reste encore à déterminer par des expériences immédiates, *si la loi de Mariotte est exacte pour toutes les autres espèces de fluides élastiques.* Cependant, comme d'après les recherches sur les dilatations, qu'on vient de mentionner, la chaleur agit uniformément sur tous ces fluides, il est très-vraisemblable qu'une pression mécanique agit de même uniformément. Ce qui rend cette opinion très-probable, c'est que toutes les expériences qu'on a faites avec l'air atmosphérique, ont toujours donné les mêmes résultats, quoique l'air employé dans chacune de ces expériences, ait peut-être différé dans ses combinaisons chimiques.

D'après ces diverses considérations, et jusqu'à ce que la question soit parfaitement décidée, nous admettons comme une hypothèse très-probable, que la loi de *Mariotte* est applicable à tous les fluides élastiques.

4.° Jusqu'à présent nous n'avons parlé de l'application de la loi que par rapport à un fluide élastique pris isolément. Mais on peut demander aussi *si la densité de deux masses d'air* A *et* B, *dont les natures chimiques sont différentes, est proportionnelle à la pression indiquée par leurs volumes.* On doit répondre négativement à cette question; car l'expérience apprend que des masses d'air différentes ont, par une température et une pression égales, des poids spécifiques différens (pag. 184, § 24); elles exigent donc des pressions différentes pour avoir la même densité.

Loi d'après laquelle la densité de l'air doit décroître en proportion de la hauteur.

§ 5. Avec quelques raisonnemens mathématiques assez faciles, on peut déduire de la loi de *Mariotte* le théorème principal de l'Aérostatique, c'est-à-dire, que

Dans l'état d'équilibre, la densité de l'air doit décroître de bas en haut en série géométrique, lorsque la nature chimique et la température de la colonne, sont égales dans toute sa hauteur.

Ainsi, en divisant la colonne d'air ABDC, (*fig.* 56), en couches de hauteurs arbitraires, mais égales entre elles, AEFB, EGHF, GIKH, ILMK, etc., la densité de l'air décroît en série géométrique dans les points E, G, I, L, c'est-à-dire, par des rapports égaux entre chacun des points qui se succèdent (1).

§ 6. L'expression de ce théorème peut être fort variée et en particulier des six manières suivantes. Lorsqu'une colonne d'air a partout une même température et une même nature chimique, on doit considérer comme décroissant en séries géométriques :

---

(1) Qu'on suppose les couches d'air assez minces pour pouvoir considérer la densité de chacune d'elles, comme égale en toutes ses parties ; qu'on nomme la densité de la couche inférieure α, celle de la suivante β, celle de la troisième γ, etc. ; de plus, qu'on nomme a le poids de toute la colonne d'air ABDC ; b son poids lorsqu'on en sépare la couche inférieure, c son poids après qu'on a retranché aussi la seconde couche, etc. Alors le poids de la première couche, est $= a - b$; le poids de la seconde $= b - c$; le poids de la troisième $= c - d$, etc.

Maintenant la densité de deux corps de volumes égaux, est, en général, comme les poids de ces corps (pag. 21, § 3). Par conséquent, $\alpha : \beta = a - b : b - c$.

Mais, selon la loi de *Mariotte*, la densité de deux masses d'air est comme la pression qu'elles subissent. Par conséquent $\alpha : \beta = b : c$. Ces proportions combinées donnent $a - b : b - c = b : c$, ou, en changeant les moyens de place, $a - b : b = b - c : c$; ou, d'après un principe connu des proportions, comme la somme du premier et du second terme est au second, ainsi la somme du troisième et du quatrième terme est à ce dernier ; c'est-à-dire $a : b = b : c$.

On démontre de la même manière que $b : c = c : d$; de plus que $c : d = d : e$, etc.

Les poids a, b, c, d, e, etc., forment donc une série géométrique ; mais comme les densités $\alpha, \beta, \gamma, \delta$, etc., sont proportionnelles à ces poids, d'après la loi de *Mariotte*, elles forment aussi une série géométrique.

Cette preuve n'est rigoureusement exacte que pour les couches infiniment petites. Mais c'est une propriété des séries géométriques, que, lorsqu'on en détache quelques-uns des membres intermédiaires, ces membres détachés forment de nouveau une série géométrique, pourvu seulement qu'il y ait un nombre égal de termes entre ceux que l'on a détachés. Il est clair, d'après cela, que le principe conserve son exactitude, lors même que les hauteurs égales AE, EG, GI, IL, etc., sont des grandeurs finies.

1.° La densité de l'air;

2.° Son poids spécifique;

3.° Le poids de l'air supérieur;

4.° La pression que l'air subit et exerce;

5.° L'élasticité de l'air;

6.° La hauteur barométrique.

Les n.os 1 et 2 ne sont que l'expression différente d'une seule chose. Les n.os 3, 4, 5 et 6 ne sont aussi que des manières diverses de considérer une chose unique en soi; car le poids de l'air supérieur n'est que la pression soufferte par l'air placé au-dessous, ou exercée par ce même air dans l'état d'équilibre. De plus, la pression qu'une masse d'air exerce, est égale à son élasticité, et la hauteur barométrique est la mesure de la pression.

Ainsi, d'après *la loi de Mariotte*, les n.os 1 et 2 d'une part, et les n.os 3, 4, 5 et 6 de l'autre, se rapportent entre eux, et par conséquent le sens général du théorème est celui-ci : *En admettant la loi de* Mariotte, *les propriétés indiquées* n.os 1 *et* 2 *décroissent dans les mêmes rapports que celles exprimées* n.os 3, 4, 5 *et* 6, *et réciproquement.*

§ 7. Comme la condition de notre théorème est que la colonne d'air a partout une même température et une même nature chimique, on ne doit pas s'attendre à trouver dans la réalité ce décroissement géométrique de la densité, parfaitement exact. Mais cependant ce serait conclure avec trop de précipitation, que de considérer la loi de *Mariotte* et le théorème qui s'en déduit, comme une simple hypothèse qu'on peut admettre ou rejeter à son gré. On ne peut refuser de reconnaître cette loi, à moins qu'on ne regarde aussi la loi de la chute des corps pesans, comme une hypothèse arbitraire, parce que, dans la réalité, les phénomènes s'en écartent à cause de la résistance de l'air. Tous les mouvemens qui se passent dans l'atmosphère, ne sont que des efforts continuels de la nature pour rétablir l'équilibre que les causes secondaires troublent à chaque instant : il doit donc y avoir effectivement une tendance continuelle vers cet équilibre. Le physicien ne peut pas rejeter les lois générales, ou les changer à volonté ; mais il doit chercher à connaître l'influence des forces perturbatrices, et à la mesurer s'il est possible.

Sur les Mesures des hauteurs par le baromètre.

§ 8. La méthode de mesurer les hauteurs au moyen du baromètre, est fondée sur le théorème que nous avons donné (pag. 191, § 5). Cette méthode est si utile pour la Physique, que nous ne pouvons nous dispenser d'en donner une idée, quoique les limites que nous nous sommes fixées, nous obligent à n'en présenter qu'historiquement les règles ordinaires.

Personne n'a fait sur cet objet des recherches pratiques plus approfondies que *Deluc;* c'est pourquoi la règle qu'il a donnée, a obtenu une sorte de considération classique, quoiqu'on pense qu'elle peut être encore améliorée. La voici (1).

Observation. On observe en même temps dans les deux endroits dont on veut connaître la hauteur, l'état du baromètre avec un instrument très-exact, et on le corrige des effets de la dilatation du mercure (§ 8 ci-dessus); on observe aussi la température de l'air dans les deux endroits avec des thermomètres ordinaires.

Calcul. Après que les deux hauteurs sont exprimées sous la même dénomination, par exemple, en lignes de Paris ou en parties décimales, ou encore, comme *Deluc* l'a fait, en 16.es de ligne, en négligeant le dénominateur, on soustrait le logarithme de la plus grande hauteur du baromètre du logarithme de la moindre hauteur; on multiplie le reste par 10000, et l'on a la hauteur cherchée en toises de Paris. Mais, dans la plupart des cas, cette hauteur a encore besoin d'une correction, à cause de la température de l'air.

Pour faire cette correction, on cherche la température moyenne entre les températures des deux endroits; ensuite on additionne les hauteurs thermométriques, et on divise leur somme par 2. Si cette température moyenne se trouve justement de $16^{\circ} \frac{3}{4}$ de l'échelle à 80 divisions, ce que *Deluc* appelle la *température normale*, il n'est alors nécessaire de faire aucune correction: mais si ce n'est pas le cas, il faut ajouter, pour chaque degré au-dessus de la température, $\frac{1}{215}$ de

(1) La découverte de cette méthode est, je crois, dûe à *Pascal* qui, le premier, l'a indiquée et fait mettre en pratique.

la hauteur trouvée, et soustraire la même quantité pour chaque degré au-dessous de la température normale (1).

Sur la hauteur de l'Atmosphère.

§ 9. Si la loi de *Mariotte* est exacte pour tous les degrés imaginables de raréfaction et de condensation, il suit du théorême exposé (pag. 191, § 5), que la dilatation de l'atmosphère est illimitée, puisque, dans une série géométrique décroissante, les termes peuvent devenir infiniment petits, à la vérité, mais jamais nuls. Cette opinion n'éprouve en soi aucune contradiction ; mais cependant elle ne paraît pas s'accorder avec les observations des astronomes qui n'aperçoivent dans les mouvemens des planètes, aucune influence d'un milieu résistant : on ne peut donc déterminer absolument quelle est la hauteur de l'atmosphère. On démontre cependant, par la théorie des hauteurs barométriques, qu'à une hauteur de 40000 toises, l'air doit être au moins aussi rare que dans le vide de nos meilleures machines pneumatiques (2). On a coutume, par cette raison, d'évaluer la hau-

---

(1) Par rapport à cette théorie, nous nous contenterons de renvoyer à des ouvrages plus étendus. *Voyez Gehler* et *Fischer*, art. *Hohemessung* ; la Dissertation de *Kastner* sur cet objet, dans son ouvrage intitulé : *Anmerkungen zur Markscheidekunft ; Gerslners Beobachtungen auf Reisen nach dem Riesengebirge*, etc.

Soit x la différence de niveau que l'on cherche à déterminer ; nommons b la moindre hauteur ; a la plus grande hauteur barométrique corrigée ; que t indique le nombre de degrés dont la température moyenne de l'air diffère de la température normale ; alors la règle de *Deluc* peut être représentée par la formule suivante :

$$x = 10000 \left(1 \pm \frac{t}{215} \right) (\log b - \log a).$$

Trembley a trouvé, par une comparaison exacte de beaucoup d'observations, que l'on approche encore plus près de la vérité, lorsqu'on suppose la température normale de $11° \frac{1}{2}$, et qu'on ajoute ou qu'on soustrait pour chaque degré au-dessus ou au-dessous de cette température, $\frac{1}{192}$ de toute la hauteur. (*Voyez* le *Voyage aux Alpes*, de *Saussure*.)

(2) Si l'on néglige la température dans le cas actuel où il ne s'agit que d'une évaluation approchée, en prenant la formule fondamentale de la mesure de hauteur, § 8, on a

$$x = 10000 (\log b - \log a),$$

teur de l'atmosphère à 40000 toises. Cependant, si l'on a estimé exactement la hauteur de quelques météores, tels que les aurores boréales, les globes de feu, etc., il faut admettre qu'à une hauteur de plus de 20 lieues, il doit y avoir non-seulement de l'air atmosphérique, mais encore beaucoup d'autres substances qu'on ne soupçonnerait pas à une telle élévation (*).

Évaluation plus précise de l'influence que la chaleur a sur les propriétés mécaniques d'un fluide dilatable.

§ 10. Nous avons déjà mentionné la découverte importante faite en même temps par *Dalton* et par *Gay-Lussac*. Elle consiste en ce que *tous les fluides élastiques sont également dilatés par la chaleur, lorsque la pression reste la même. Cette dilatation entre la température de la congélation jusqu'à celle de l'ébullition, est de 0,375, ou de $\frac{3}{8}$ du volume que la masse avait à la première température* (**).

---

d'où l'on tire

$$\log a = \log b - \frac{x}{10000}.$$

Qu'on fasse maintenant $x = 40000$ et $b = 336$ lignes de Paris, c'est-à-dire, 28 pouces, on trouve $\log b = 8{,}5263393 - 10$, à quoi se rapporte le nombre $a = 0{,}0336$; c'est-à-dire que la hauteur barométrique indiquerait à peine, en cet endroit, 0,03 lignes de Paris.

(*) Voyez (*Corres. Math. et Phys.* publiée à Gand, I.er vol., pag. 73 et II.me vol., pag. 104) ce qui a été tenté à cet égard.

(**) *Table de la dilabilité de l'air et des autres gaz par diverses températures, et sans contact des corps humides.*

	Températures, échelle de Fahrenheit.	Volumes par l'expérience.
	— 32,8.....	0,8650
Terme de la Congélation.......	32°...........	1,0000
Terme de l'ébullition..........	212...........	1,3750
	302...........	1,5576
	392...........	1,7389
	482...........	1,9189
	572...........	2,0976
Mercure bouillant.............	680...........	2,3125

Cette découverte remarquable nous met en état de déterminer avec beaucoup d'exactitude, l'influence de la chaleur sur la densité et sur l'élasticité d'une masse d'air.

§ 11. Puisque la loi de *Mariotte* est applicable à chaque masse de fluide élastique, il suit de là réciproquement :

Que pour une masse d'air parfaitement renfermée, et qui ne peut changer son volume, l'élasticité doit croître par la chaleur dans le même rapport que son volume serait augmenté si, la pression étant la même, il lui était possible de se dilater.

Il faut donc que, depuis le point de la congélation jusqu'à celui de l'ébullition, l'élasticité d'une masse d'air parfaitement renfermée, croisse dans le rapport de 1000 : 1375 ou 8 : 11.

§ 12. Si l'on divise maintenant la distance fondamentale d'un thermomètre à air de *Lambert* (pag. 73, § 7) en 375 parties ; qu'on place au point de congélation le nombre 1000, au point d'ébullition le nombre 1375, et qu'on évalue la température d'après les degrés de ce thermomètre, la comparaison de deux nombres de cette échelle, indiquerait exactement quels seraient, sous ces deux températures, les rapports de la dilatation d'une masse d'air, sa pression

---

Cette table présente les expansions de l'air, telles qu'elles ont été observées par MM. *Dulong* et *Petit ;* ils ont trouvé l'expansion du gaz hydrogène, à peu près la même que celle de l'air commun, par les mêmes températures. M. *Dalton* en Angleterre et *Gay-Lussac* en France, ont trouvé le premier 0,00372 et le second 0,00375 pour la dilatation correspondante à chaque degré centigrade ; le nombre du dernier s'accorde avec celui de l'astronome *Tobie Mayer;* c'est aussi celui de la table ci-dessus qui donne 0,3750 pour la dilatation de 0° à 100° du thermomètre centigrade, ce qui revient à 0,00375 pour un degré ; cette dilatation équivaut, à-peu-près, au 267me, ou à $\frac{3}{800}$ du volume à 0° : d'où il suit qu'un volume d'air représenté par 800 à 0°, devient 803 ; 806 ; 809, etc., quand le thermomètre monte à 1°, 2°, 3°, etc. : ensorte qu'en désignant le volume à 0° par V et le nombre de degrés par t, on a pour le volume à la température t, $V\,(800 + 3t)$, ou $V\,(1 + 0{,}00375t)$. Ainsi, pour ramener à 0° un volume V' observé à la température t, il faut le diviser par $1 + 0{,}00375t$, et, pour le porter de-là à la température t', il faut multiplier le quotient par $1 + 0{,}00375t'$. On suppose dans tout ceci que la pression ne varie pas : dans le cas contraire, il faudrait appliquer la loi de *Mariotte,* en vertu de laquelle les volumes sont dans le rapport inverse des pressions. Le physicien *Charles* avait constaté depuis long-temps l'égale dilatation des gaz.

restant la même, ou ceux de la dilatabilité, si le volume reste le même.

Si l'on ne voulait pas diviser la distance fondamentale en 375 parties, mais en 80, comme le thermomètre ordinaire, il faudrait mettre au point de congélation le nombre 213 $\frac{1}{3}$ (la quatrième proportionnelle de 375, 1000 et 80), et, par conséquent, 293 $\frac{1}{3}$ au point d'ébullition. Les nombres de cette échelle indiqueraient aussi immédiatement les rapports dont nous venons de parler.

§ 13. La marche d'un thermomètre à air divisé en 80 parties, et celle d'un thermomètre de mercure divisé de même, ne sont peut-être pas parfaitement conformes; mais selon les observations de *Lambert*, elles ne diffèrent que très-peu entre les points de congélation et d'ébullition (1). (*Voyez* la *Pyrométrie* de *Lambert*, § 141; Berlin, 1779). Si donc on écrit 213° $\frac{1}{3}$ au lieu de 0° au point de congélation, et 293 $\frac{1}{3}$ au lieu de 80 au point de l'ébullition, ou, ce qui revient au même, si l'on ajoute 213 $\frac{1}{3}$ à la température indiquée par le thermomètre, ces nombres expriment d'une manière approchée, les rapports déterminés dans l'article précédent. D'après cela, il paraît qu'il serait fort utile pour l'Aérostatique, et peut-être même pour toute la Thermométrie, d'introduire par-tout l'usage du thermomètre à air, au lieu de celui de mercure, ou du moins qu'on déterminât avec précision les rapports des deux échelles (2).

ADDITION AU CHAPITRE XXX.

De la Méthode Barométrique.

« On prend deux points ou stations à la surface du globe, on y observe le baromètre et le thermomètre, et de ces observations il faut conclure la hauteur ou la différence de niveau entre ces deux points. Pour résoudre ce problème, supposons

(1) *Gay-Lussac* a prouvé récemment, par des expériences extrêmement précises, qu'elles sont rigoureusement les mêmes lorsque l'air et les tubes sont parfaitement desséchés.

(2) C'est ce qu'a fait *Gay-Lussac*, depuis la publication de cet Ouvrage en Allemagne, et ses résultats ont été confirmés par le travail de MM. *Petit* et *Dulong*, dont nous avons parlé pag. 77.

d'abord que l'air atmosphérique soit à zéro de température du thermomètre, qu'il soit entièrement sec et que la gravité soit une force constante : nous corrigerons ensuite la formule obtenue sous ces hypothèses. Cela posé, divisons par la pensée, l'atmosphère en couches concentriques fort minces, d'un centimètre, par exemple, mais d'égale épaisseur : cette épaisseur étant prise pour unité, l'élévation des diverses couches au-dessus du niveau de la mer, sera représentée par la suite naturelle des nombres o, 1, 2, 3.... *Cette élévation croîtra donc en progression arithmétique.* D'un autre côté, l'atmosphère étant supposée en équilibre dans la région comprise entre les deux stations, toutes les parties d'une même couche, éprouveront une égale pression, et en passant d'une couche à l'autre, cette pression ou le poids qui la produit, décroîtra suivant une certaine loi que nous allons rechercher. Soient, à cet effet, P le poids d'une colonne de l'atmosphère divisée en tranches fort minces, mais d'égale épaisseur ou d'un centimètre; p, p', p''.... le poids de la même colonne, dont on aurait retranché successivement et à partir du bas, la première, les deux premières les trois premières etc. de ces couches : on a démontré (pag. 192 note) qu'on avait la progression géométrique

$$\because P : p : p' : p'', \text{ etc.}$$

Mais le poids comprimant de chaque couche, est égale au poids de la colonne d'un baromètre dont la cuvette serait dans cette couche; de plus, à égalité de pesanteur spécifique du mercure, c'est-à-dire, à égalité de température et de gravité ou d'intensité de la pesanteur, les poids des colonnes barométriques, sont proportionnels aux longueurs de ces colonnes; donc *la longueur de la colonne d'un baromètre élevé successivement de couche en couche, décroîtra en progression géométrique.* De sorte que si B représente l'indication du baromètre au niveau de la mer, et b, b', b''... les indications successives dans les couches immédiatement supérieures, on aura cette progression

$$\because B : b : b' : b'' : b''' : \text{etc} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Or, o, a, a', a''.... étant les élévations correspondantes de ces couches au-dessus du niveau de la mer, on sait qu'on a la progression arithmétique

$$\div\ o.\ a.\ a'.\ a''.\ a'''.\ \text{etc} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4).$$

laquelle correspond, terme à terme, à la progression géométrique (3); or, la progression (3) donne lieu aux proportions

$$B : b = b : b';\ b : b' = b' : b'',\ b' : b'' = b'' : b''' \text{ etc.}$$

divisant, dans la première, les deux termes du premier rapport par B b et les deux termes du second par bb' ; dans la seconde, les deux termes du premier rapport par bb' et ceux du second par $b'b''$ etc., on aura celles-ci

$$\frac{1}{b} : \frac{1}{B} = \frac{1}{b'} : \frac{1}{b};\ \frac{1}{b'} : \frac{1}{b} = \frac{1}{b''} : \frac{1}{b'};\ \frac{1}{b''} : \frac{1}{b'} = \frac{1}{b'''} : \frac{1}{b''} \text{ etc.}$$

et conséquemment

$$\frac{1}{B} : \frac{1}{b} = \frac{1}{b} : \frac{1}{b'} = \frac{1}{b'} : \frac{1}{b''} = \frac{1}{b''} : \frac{1}{b'''} : \text{etc.}$$

c'est-à-dire,

$$\div \frac{1}{B} : \frac{1}{b} : \frac{1}{b'} : \frac{1}{b''} : \text{etc.}$$

de laquelle on passe facilement à la suivante

$$\div 1 : \frac{B}{b} : \frac{B}{b'} : \frac{B}{b''} : \frac{B}{b'''} : \text{etc.} \ldots\ldots\ldots (5)$$

De progressions (4) et (5) on conclura,

$$a = \log\left(\frac{B}{b}\right),\ a' = \log\left(\frac{B}{b'}\right),\ a'' = \log\left(\frac{B}{b''}\right) \text{etc.}$$

Ces logarithmes qu'on peut appeler *Barométriques*, ne sont pas, il est vrai, ceux des tables ordinaires; mais il est facile de leur substituer ces derniers, puisque le logarithme de tout nombre, pris dans un système quelconque, peut toujours être ramené à celui du même nombre dans un autre système, en le multipliant par un certain facteur constant qu'on nomme *module*. Soit M ce nombre que nous déterminerons : nous aurons

$$a = M \log\left(\frac{B}{b}\right),\ a' = M \log\left(\frac{B}{b'}\right),\ \text{etc.}$$

c'est-à-dire

$$a = M[\log B - \log b],\ a' = M[\log B - \log b']$$

où les logarithmes peuvent être pris dans les tables, en déterminant M convenablement : on tire de là

$$a' - a = M[\log B - \log b'] - M[\log B - \log b]$$
$$= M[\log b - \log b']$$

Il est facile de généraliser cette formule. Soient, à cet effet, H la hauteur du baromètre à la station inférieure, h celle du baromètre à la station supérieure, et x la différence de niveau entre les deux stations : on remplacera $a' - a$, b et b' par x, H et h, ce qui donnera

$$x = M[\log H - \log h] \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Il s'agit de déterminer M, facteur constant, quelles que soient les valeurs particulières de x, H et h. MM. *Biot* et *Arago* ont trouvé qu'à 0° du thermomètre, sous la pression barométrique de 0,76 mètres ou de 28 pouces et à la latitude de 45°, le mercure pesait 10467 fois plus que l'air sec. D'après cette donnée, supposons que l'atmosphère soit divisée en tranches de 0,10467 mètres de hauteur et chacune

d'une densité uniforme ; elles seront assez minces pour que cette dernière supposition ne puisse donner lieu à aucune erreur sensible : transportons-nous en idée à la tranche où un baromètre placé à sa surface supérieure, se tiendrait à 0,76 mètres : dans ce point, l'air pesant 10467 moins que le mercure, si l'on transporte le baromètre à la surface inférieure de la même tranche, le mercure haussera d'une quantité égale à la 10467me partie de l'épaisseur de cette tranche, puisque la colonne barométrique doit augmenter d'un poids égal à celui de la colonne atmosphérique : or, la 10467me partie de $0^{m},10467$, est $= 0,00001^{met}$: donc le baromètre porté à cette surface inférieure de la couche, indiquera 0,76001, tandis qu'à la surface supérieure de la même couche, il est à 0,76 : la différence de niveau entre les deux stations, qui est l'épaisseur de la tranche, sera 0,10467 mètres : portant ces valeurs dans (6) on aura

$$0,10467^{met} = M\,[\log 0,76001 - \log 0,76].$$

Les tables des logarithmes donnent

$$\log 0,76001 - \log 0,76 = 0,0000057144;$$

donc $$M = \frac{0,10467}{0,0000057144} = 18317^{met}.$$

et conséquemment la formule (6) devient

$$x = 18317\,[\log H - \log h] \ldots\ldots\ldots\ldots (7)\ (^*)$$

Nous avons maintenant à corriger l'effet des suppositions que nous avons faites, savoir : 1.° que l'air était à 0° de température du thermomètre ; 2.° qu'il était entièrement sec ; 3.° que la gravité était partout la même qu'à 45° de latitude : chacune de ces corrections se sous-divise en plusieurs autres.

1.° La chaleur dilate l'air, le rend moins dense et moins pesant ; plus elle sera forte, moins l'air sera pesant et plus il faudra s'élever dans l'atmosphère pour que le baromètre y baisse d'une même quantité, puisque la différence de hauteur des deux colonnes barométriques, aux deux stations, doit être égale en poids, à la différence des deux colonnes atmosphériques aux mêmes stations : de sorte qu'au même abaissement barométrique, répondent des élévations d'autant plus grandes que la température du milieu est plus élevée. A partir de 0 du thermomètre centi-

(*) Si au lieu de supposer l'épaisseur de la tranche atmosphérique de $0,10467^{m}$, on l'eut prise cent et même dix mille fois plus petite, on aurait encore trouvé la même valeur du module. On s'est assuré que l'épaisseur étant de $0,00001^{m}$, c'est-à-dire, moindre que celle de la feuille du papier le plus mince, on aurait eu

$$M = 18316,88:$$

ainsi on peut regarder comme très-légitime la supposition faite dans le texte.

grade, la chaleur dilate l'air de 0,00375 de son volume, par degré de ce thermomètre : en conséquence une hauteur correspondante à un certain abaissement thermométrique (H — h), étant déterminée dans la supposition que l'air compris entre les deux stations, est à 0°, ce qui est le cas de la formule (7), on aura la hauteur correspondante à ce même abaissement, lorsque l'air sera à un degré quelconque n du thermomètre, en augmentant la première hauteur d'autant de fois sa 0,00375e partie, qu'il y a d'unités dans n, c'est-à-dire, en comptant $x + 0{,}00375nx$ au lieu de x, ou bien encore, en multipliant x par le facteur $(1 + 0{,}00375\,n)$. La quantité n doit représenter la température générale de la masse d'air, comprise entre les deux stations : pour la déterminer, il faudrait connaître 1.° la température des couches extrêmes de cette masse ; 2.° la loi suivant laquelle elle décroît d'une couche à l'autre. Malheureusement nous ne pouvons avoir à cet égard que des approximations, et ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de supposer avec M. *Laplace*, dans toute la masse, une température uniforme et moyenne entre les deux stations. En conséquence, si t est l'indication du thermomètre à la station inférieure, et t' à la station supérieure, on aura $n = \frac{t + t'}{2}$, et le facteur de la correction, sera

$$1 + 0{,}00375 \times \frac{t + t'}{2}.$$

En sorte qu'au lieu de la hauteur x telle qu'elle résulte de la formule (7), on devra prendre

$$x + 0{,}00375 \times \frac{t + t'}{2} \cdot x.$$

2.° Nous nous bornerons à dire que la correction relative à l'état hygrométrique de l'air, s'opère en augmentant un peu le coëfficient 375 de la dilatation de l'air, et en le portant à 400 ; de sorte que la dernière correction devient

$$1 + 0{,}00400 \times \frac{t + t'}{2} = 1 + 0{,}002\,(t + t') \ldots (8).$$

Il faut encore observer qu'en établissant la formule, on a supposé que le mercure des deux baromètres, était à la même température ; mais comme il arrive rarement qu'il en soit ainsi, il faut ramener les longueurs des deux colonnes barométriques, à ce qu'elles seraient sous le même degré de chaleur. On sait que le mercure se dilate de $\frac{1}{5412}$ ou 0,0001802 par degré du thermomètre centigrade : ainsi en allongeant la colonne la plus froide d'autant de fois sa 0,00018.me partie qu'il y a degrés de différence entre les températures des deux thermomètres, on obtiendra la correction convenable : en conséquence, si T exprime la température du baromètre inférieur et T' celle du baromètre supérieur, qui est ordinairement la

plus basse, la hauteur barométrique h, deviendra

$$h\,[\,1 + 0{,}00018\,(T - T')\,] \ldots\ldots\ldots\ldots (9)\ (*)$$

3.° Il reste à faire trois corrections, l'une relative à la différence d'action de la pesanteur sur les deux baromètres, l'autre relative à la variation de la pesanteur dans le sens vertical et la troisième relative à la variation de la pesanteur en latitude. Les deux colonnes barométriques déjà réduites à la même température, doivent l'être encore à la même intensité de la pesanteur : cette force décroissant à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, le mercure dans le baromètre supérieur, sera spécifiquement moins pesant et il montera plus haut que si l'action de cette force fût restée constante : on a trouvé que cette correction se fait d'une manière exacte et simple, en augmentant une fois pour toutes de 48^{met} le coefficient 18317 de la formule (7), lequel devient ainsi 18365 mètres. Ainsi en n'ayant égard qu'à cette dernière correction, la formule citée deviendra

$$x = 18365\,[\log H - \log h] \ldots\ldots\ldots (10).$$

La seconde correction se fait avec une exactitude suffisante, en augmentant le coefficient 18365 d'une dixaine mètres : de sorte qu'en tenant compte des corrections (8) et (9), la formule (10) devient. . . . .

$$x = 18375\,[1{,}002\,(t + t')]\,[\log H - \log h\,(1 + 0{,}00018)\,(T - T')]$$

ou en adoptant le coefficient 18393^{m} de M. *Ramond*, la formule devient

$$x = 18393\left(1 + \frac{2\,(t + t')}{1000}\right)\left\{\log \frac{H}{\left(h\,(1 + \frac{T - T'}{b}\right)}\right\} \ldots (11)$$

dans laquelle M. *Biot* suppose $b = 5412$, ce qui donne $\frac{1}{b} = 0{,}00018$, et M. *De Laplace* fait $b = 5550$. Cette formule convient à des hauteurs moindres que 5000 mètres.

Enfin, et à partir du 45me degré où on s'est placé, la gravité augmentant en allant vers le pôle et diminuant en allant vers l'équateur, l'air atmosphérique est plus dense dans le premier cas, et l'est moins dans le second : or, l représentant la latitude, la diminution ou l'augmentation de la gravité, à compter du 45°, est expri-

---

(*) Il résulte des expériences de MM. *Dulong* et *Petit* qui méritent la plus grande confiance, que la dilatation d'un volume de mercure, est de 0,0180180 $= \frac{1}{55{,}50}$: ainsi, pour $\frac{1}{100}$ de cette température, c'est-à-dire, pour un degré de 0° à 100° du thermomètre centigrade, la dilatation sera de $\frac{1}{5550} = 0{,}00018$, ce qui s'accorde avec le résultat donné (pag. 82), en substituant la dilatation $\frac{1}{555{,}0}$ à celle de MM. *Laplace* et *Lavoisier*, qui est $\frac{1}{541{,}2}$.

mée par 0,00284 cos 2 l : la correction à faire à la valeur précédente de x, est donc 0,00284 cos 2 l : en sorte qu'il faudrait encore introduire dans (11), le facteur $1 + 0,00284 \cos 2l$; mais nous n'en tiendrons pas compte (*).

M. *Prony*, dans un mémoire très-intéressant sur les mesures barométriques (Connais. des temps de 1816, pag. 312), a donné une formule qui dispense de l'usage des logarithmes et de laquelle il a déduit une conséquence très-remarquable.

En appliquant la formule (11) à la recherche de la hauteur du *Mont Grégorio*, qui fait partie de la chaîne des Alpes, on trouve $x = 1714,6$, tandis qu'une opération trigonométrique faite avec le plus grand soin, a donné 1708,4 : cette différence de 6 mètres, doit être regardée comme nulle.

M. *Coraboeuf* par des opérations géodésiques faites à l'aide de triangles du premier ordre et sur l'exactitude desquelles on peut compter, a trouvé $4435^{m},92$ pour la hauteur du Mont-Blanc au-dessus du niveau de la mer, et par la formule barométrique, en ayant égard à toutes les corrections précédemment indiquées, on trouve 4436,20, ce qui ne fait que 28 centimètres d'erreur. Il a soumis au calcul diverses autres sommités alpines, et il les a toutes trouvées conformes aux mesures données par la géométrie. La hauteur du Puy-de-Dôme au-dessus de la mer, a été trouvée barométriquement, égale à $1482^{m},84$, et par nivellement, égale à $1481^{m},23$. Par l'application de la formule (11), M. *Humboldt* a trouvé $5877^{m},0$ pour la hauteur du Chimboraco au-dessus du niveau de la mer pacifique.

On préfère pour ces opérations le baromètre de *Fortin*, ou celui de *Gay-Lussac*. Indépendamment du choix de l'instrument, l'observateur doit avoir égard aux heures, aux situations, aux météores, aux variations accidentelles des baromètres.

(*) Pour rendre les observations barométriques parfaitement comparables, il faudrait encore avoir égard aux effets de la capillarité dans les tubes étroits, ce qui exige qu'on compte la hauteur du mercure du sommet de la convexité terminale ; car l'élévation de ce sommet est encore moindre que celle qui aurait lieu, dans le cas où la colonne serait exempte des effets de la capillarité, c'est-à-dire, où elle se terminerait par une surface plane. (*Addit.* pag. 133.)

CHAPITRE XXXI.

Des mouvemens des Fluides élastiques, ou observations sur la Pneumatique.

§ 1. Dans les recherches sur les mouvemens des fluides élastiques, le physicien peut se borner presque exclusivement à examiner l'air atmosphérique; car pour les autres espèces d'air que nous ne produisons qu'en petite quantité, et qui ne comprennent jamais que de petits espaces, il arrive rarement que leurs mouvemens aient un intérêt particulier. Mais, au contraire, les grandes agitations de l'immense étendue d'air qui enveloppe le globe terrestre, les vents continuels, périodiques ou accidentels qui s'y produisent, sont non-seulement des phénomènes remarquables en eux-mêmes, mais encore ils sont devenus importans de plus d'une manière pour les rapports de la vie sociale; et l'on peut juger de quelle utilité infinie serait la connaissance exacte des lois de ces mouvemens, si l'on pouvait parvenir ainsi à les prévoir et à les déterminer d'avance. Il y a aussi plusieurs mouvemens artificiels de l'air, dont l'observation est importante. Dans une infinité de machines pneumatiques ou hydrolico-pneumatiques, l'élasticité de l'air ou celle de la vapeur d'eau, opère à elle seule le mouvement, ou, du moins, y contribue essentiellement. Les courans d'air qu'on pratique dans les mines, dans les chambres et dans les cheminées, par détourner les gaz malfaisans, ou pour nous délivrer d'une fumée incommode, se rapportent à la connaissance de ces mouvemens.

§ 2. La Physique mécanique devrait, par rapport à ces mouvemens, développer d'abord leurs principes fondamentaux, et les confirmer ensuite par des expériences. Mais leur théorie qu'on appelle *Pneumatique* (1), n'a pas seulement à lutter contre toutes les difficultés qui se rencontrent dans l'Hydraulique; elle doit encore avoir égard à deux forces particulières très-actives, qui entravent continuellement

(1) De πνευμα, vent.

les recherches exactes : ces forces sont la dilatabilité et la chaleur. Aussi cette partie de la Physique manque-t-elle encore entièrement de principes fondamentaux démontrés par des raisonnemens exacts, et confirmés par des expériences. Nous devons, par cette raison, nous contenter de remarques générales sur cet objet. Pour avoir une idée des recherches mathématiques qui ont été faites jusqu'ici sur ce point, on peut consulter la sixième partie des *Élémens de Mathématiques* de *Karsten.*

§ 3. On peut affirmer que nous pourrions expliquer assez bien les causes de tous les mouvemens qui se passent dans l'atmosphère, si deux conditions essentielles pour les recherches précises, ne nous manquaient dans la plupart des cas. La première est la mesure exacte de l'effet produit; la seconde est la connaissance particulière de toutes les circonstances diverses qui influent sur un effet unique. Nous connaissons, par exemple, les causes générales du vent; mais nous ne savons que bien rarement, ou plutôt nous ne savons jamais de quelle force sera l'effet du vent, et jusqu'à quelle distance il s'étendra, ou quelles sont les causes particulières d'un vent qui souffle en ce moment.

§ 4. Au lieu des lois fondamentales de la Pneumatique, que nous devrions exposer ici et qui lui sont particulières, nous ne pouvons que rapporter le principe général suivant, qui est assez évident pour n'avoir besoin d'aucune preuve.

Chaque cause qui agit sur une masse d'air contradictoirement à une des lois de l'équilibre, doit produire du mouvement.

Comme nous avons exposé d'une manière suffisante les conditions de l'équilibre de l'air dans le précédent chapitre, il nous sera très-facile de donner une idée claire des causes des mouvemens de l'air.

§ 5. Une des causes principales des mouvemens de l'air, c'est la chaleur. Les mouvemens qu'elle occasionne, quoique fort variés, se produisent tous de la même manière. La chaleur augmente l'élasticité de l'air (pag. 177, 198 §§ 10 et 11); ainsi lorsqu'en quelque endroit de l'atmosphère, une masse d'air est beaucoup plus échauffée que le reste de l'air qui l'environne, elle se dilate et repousse de tous côtés l'air plus froid qu'elle. De cette manière, l'équilibre est rompu, et l'air échauffé, devenu plus léger, doit s'élever, d'après les lois de l'Hydrostatique; car l'air environnant étant plus froid, est par là même plus pesant. Réciproquement, l'air froid doit descendre et se

presser vers l'endroit où agit la chaleur; l'air s'accumule alors au-dessus de la place échauffée, ce qui produit nécessairement dans le haut un courant d'air qui se répand de tous les côtés. La chaleur produit donc toujours un double courant d'air, affluent au-dessous de la place échauffée, effluent au-dessus de la même place.

Le froid doit évidemment agir de la manière opposée, et produire un courant d'air effluent au-dessous de la place échauffée, et un courant d'air affluent au-dessus.

§ 6. D'après cette théorie générale, les mouvemens causés par la chaleur et par le froid peuvent être expliqués facilement, en ayant égard aux diverses circonstances qui modifient chaque cas donné.

Ainsi, la plupart des vents proviennent de l'échauffement et du refroidissement des différentes régions de l'atmosphère, particulièrement les vents constans et périodiques qu'on observe sous la zone torride.

C'est d'après les mêmes principes qu'agissent les courans d'air dans les fours et les cheminées, dans la lampe d'*Argant*, dans les ventouses, etc. On peut observer, au moyen d'une bougie allumée, les deux courans d'air affluent et effluent à l'ouverture de la porte d'une chambre échauffée. On produit de même un courant d'air dans les mines, en y pratiquant un puits, ou une galerie, parce que la température de l'air de la mine, est très-différente de la température extérieure. Si cette différence ne produit par assez d'effet, on parvient souvent à ce but, en établissant un fourneau dans la mine.

§ 7. Puisqu'à température et à pression égales, chaque fluide élastique possède un degré particulier de densité, tout changement qui a lieu dans la combinaison chimique d'un masse d'air, est, ainsi que la chaleur et le froid, une cause de mouvement. Chaque augmentation de densité agit comme le froid, chaque diminution comme la chaleur. Or, il se fait continuellement des changemens de combinaisons dans l'air atmosphérique, parce qu'au moyen de procédés organiques et chimiques, dont la plupart nous sont peut-être entièrement inconnus, tantôt il cède aux autres corps quelques-uns de ses principes constituans, et tantôt il se combine avec une partie des leurs. Il doit y avoir ainsi une source intarrissable de mouvemens, lesquels, cependant, ne doivent être que rarement considérables, puisque les changemens de combinaisons ne se font qu'avec lenteur.

§ 8. De semblables changemens de combinaisons produisent des mouvemens, non-seulement parce qu'ils changent la force élastique de l'air, mais aussi parce qu'*ils augmentent ou diminuent alternativement sa masse.* Aux endroits où la masse d'air augmente, il doit se produire un courant d'air effluent de tous les côtés. Aux endroits où elle diminue, le contraire doit arriver. La cause la plus active de cet effet, est sans doute l'évaporation de l'eau. On a observé qu'il s'évapore annuellement une couche d'eau d'environ 30 pouces de hauteur, dans les pays tempérés de l'Europe, et dans le rapport de $\frac{1}{2}$ pouce à-peu-près pour le mois le plus froid, et de 4 à 5 pouces pour le plus chaud. (Voyez *Gehler* et *Fischer*, art. *Ausdünstung*). On peut imaginer, d'après cela, combien la masse d'air qui est au-dessus de l'immense surface des mers, augmente continuellement, surtout sous la zone torride, et l'on peut attribuer à cette augmentation une quantité de mouvemens qui se répandent dans toute l'atmosphère.

Mais des mouvemens beaucoup plus forts doivent avoir lieu par la cause opposée, c'est-à-dire, lorsque l'eau tombe sur la terre, en pluie, en neige et en grêle : ils sont sur-tout remarquables dans les violentes pluies d'orage, où souvent un espace limité de l'atmosphère, perd en un temps très-court plusieurs milliers de quintaux de masse, ce qui doit évidemment produire un courant d'air affluent de tous côtés vers cet endroit. En effet, c'est ce qu'on remarque quand on observe attentivement un orage.

§ 9. Les mouvemens des autres corps, et particulièrement ceux de l'eau, se communiquent aussi à l'air. Lorsque l'air est tranquille, on remarque au-dessus de chaque rivière dont le cours est un peu rapide, un courant d'air dans la même direction que ce cours, et il ne devient insensible que par l'effet d'un vent plus fort. Ceux qui connaissent les grands courans qu'on distingue dans les mers, concevront facilement qu'ils peuvent produire, de la même manière, des mouvemens considérables dans l'atmosphère. On se sert, dans les mines, d'un moyen qui a rapport à ces phénomènes, pour produire un courant d'air. Dans une galerie où coule un ruisseau, on place à une petite hauteur, sur celui-ci, une cloison de planches; au-dessous de cette cloison l'air suit le courant du ruisseau, et au-dessus il prend la direction contraire.

§ 10. On a imaginé une foule de moyens mécaniques pour pro-

duire de plus petits mouvemens dans l'air : tels sont le soufflet ordinaire, la pompe de raréfaction, celle de condensation, etc. Ces appareils se fabriquent suivant diverses dimensions, selon l'usage auquel on veut les employer. Dans les fonderies, on emploie la plus grande espèce de soufflet, et l'on pourrrait se servir avec avantage de la pompe de condensation (*Annales de Gilbert*, IX, 45, ff.). Dans les mines, on fait quelquefois usage du soufflet à double courant d'air et de la pompe de raréfaction.

§ 11. De même que l'air est mis en mouvement par d'autres corps, *il peut aussi lui-même faire mouvoir d'autres corps solides et liquides.* On sait qu'un ouragan peut arracher des arbres et renverser les maisons, et qu'il élève les vagues de la mer jusqu'à une hauteur effrayante.

Les arts ont utilisé cette force motrice de l'air, ou des autres fluides élastiques, de diverses manières. La pression d'un vent modéré met en mouvement les ailes d'un moulin. La machine à vapeur élève les plus grands poids par la force de la vapeur d'eau, et elle peut être employée comme un moyen de faire mouvoir toute espèce de machines. Pour les machines hydrauliques qui agissent par secousses, comme toutes les pompes et l'ingénieux *Bélier hydraulique* de *Montgolfier* (1), on obtient un mouvement uniforme par la condensation de l'air dans un réservoir. Dans le fusil à vent, c'est l'air comprimé qui produit tout l'effet; dans les armes à feu, c'est la dilatation des gaz qui se produisent par l'inflammation de la poudre. Enfin, nous devrions nommer toutes les machines hydrauliques et pneumatico-hydrauliques, si nous voulions donner une idée complète des manières infiniment variées d'appliquer les forces motrices des fluides élastiques. La postérité trouvera encore ici une abondante matière pour d'importantes inventions (*).

Parmi les machines plutôt amusantes qu'utiles, qui se rapportent à l'emploi de cette force, nous citerons seulement le balon de Héron,

---

(1) Voyez *Pfaffs und Friedlanders Franz. Annal.*, 1803, n.° V, pag. 17.

(*) Parmi les nombreux emplois de l'air dans les arts, on doit encore citer les séchoirs, les bâtimens de graduation, le desséchement d'une foule de substances, la séparation des poussières par la ventillation, les moyens d'assainissement, etc., etc.

la fontaine de Héron, de laquelle cependant on a fait une application intéressante dans les mines, et la fontaine de feu. On en trouve un plus grand nombre dans *Gehler* et *Fischer*, article *Springbrunnen*.

§ 12. Comme tous les mouvemens des corps solides et liquides que nous produisons, se passent dans l'air, la théorie de la résistance de ce fluide est un objet très-important, mais aussi très-difficile à étudier. Les principes que *Newton* en a donnés, ne sont pas aussi bien confirmés par les expériences que ses lois du mouvement des corps solides. (*Voyez* à ce sujet l'article *Widerstand der Mittel*, dans les Dictionnaires de *Gehler* et de *Fischer*.)

§ 13. L'incertitude de cette théorie empêche d'exposer complètement les *lois de la chute dans l'air*. Sur cela, ce qu'on peut déterminer en général, est ce qui suit : la chute dans l'air ne peut pas, plus que la chute dans un liquide, se faire en mouvement uniformément accéléré, mais son accélération doit de même décroître à chaque instant. Cependant, le mouvement ne peut pas y devenir uniforme comme celui de la chute dans un liquide (p. 146 § 16), parce que la densité de l'air et par conséquent aussi sa résistance, s'accroissent continuellement. Ainsi, en supposant qu'un corps tombât dans une colonne d'air suffisamment longue, il aurait d'abord une vitesse croissante, mais son accélération diminuerait continuellement : à une certaine profondeur, l'accélération deviendrait nulle, et la vitesse serait au *maximum*. Le résistance croissant toujours, il arriverait qu'au-delà de ce point, la vitesse elle-même diminuerait, jusqu'à devenir nulle, et alors le corps demeurerait suspendu dans l'air. Cette conséquence peut paraître parodoxale, lorsqu'on n'a pas une idée exacte de l'accroissement de la densité de l'air. Mais on peut déduire de la formule donnée pour les mesures de hauteur barométrique (pag. 195 note), qu'une colonne d'air qui se prolongerait dans l'intérieur de la terre, serait déjà, à une profondeur de 50000 toises, 100000 fois plus dense qu'à la surface, c'est-à-dire, environ cinq ou six fois plus dense que l'or et le platine, de sorte que les corps les plus pesans que l'on connaisse, y devraient rester suspendus (1).

---

(1) Soit a la hauteur barométrique à la surface de la terre ; soit h cette hauteur à une certaine profondeur, au point où l'air est n fois plus dense,

par conséquent, la hauteur barométrique de ce lieu $= na$, d'après la loi de *Mariotte*. On a ainsi (pag. 195, note),

$$h = 10000 (\log na - \log a);$$

mais comme $\log na = \log n + \log a$; il s'ensuit que $h = 10000 \log n$; si l'on fait $n = 100000$, on a $\log n = 5$, par conséquent $h = 50000$. Si l'on suppose h égal au rayon de l'équateur terrestre, c'est-à-dire $= 3271864^t$, on tire de notre équation $\log n = 327,1864000$; la valeur de n correspondante à ce logarithme, aurait trois cent vingt-huit chiffres dont les premiers seraient 153631... La densité de l'air, au centre de la terre, serait ainsi déterminée par un nombre qu'on peut bien écrire, mais non pas exprimer. « On a vu (Chap. VII) qu'au-dessus de la surface de la terre, la force accélératrice suit la raison inverse du carré de la distance du corps grave au centre de la terre; à cette occasion, nous aurions dû observer que cette raison inverse devient la raison directe des distances simples, si l'on suppose que le corps vienne à tomber dans un canal creux pratiqué dans l'intérieur du globe, d'un point de la surface au point diamétralement opposé. Dans cette hypothèse, et en supposant de plus que la vitesse soit nulle au point de départ ou à l'une des extrémités du diamètre terrestre, elle se trouvera encore nulle à l'autre extrémité du même diamètre, et son *maximum* aura lieu au centre de la terre; ensorte que le mobile oscillera continuellement d'une extrémité à l'autre de ce diamètre.

SIXIÈME SECTION.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE XXXII.

De la Machine électrique, et des phénomènes généraux de l'Électricité.

§ 1. Les anciens connaissaient déjà la propriété que possède l'ambre, ou succin (1), d'attirer de petits corps lorsqu'il est frotté; mais ils ne soupçonnaient pas que ce phénomène fût l'effet d'une force naturelle très-remarquable et très-répandue. Ce ne fut qu'au XVII.e siècle qu'on découvrit que le soufre, toutes les résines et beaucoup d'autres corps possèdent aussi cette même propriété; et l'inventeur de la machine pneumatique, fut encore celui qui enrichit les appareils physiques d'un second instrument très-important, de la *Machine électrique*. Les bornes d'un ouvrage élémentaire ne permettent ni de décrire la construction physique primitive de cette machine, ni de s'étendre sur les divers changemens au moyen desquels on l'a peu à peu perfectionnée. On trouvera des détails sur ceci, dans les Dictionnaires de Physique, à l'article *Machine électrique*. Nous devons nous contenter d'indiquer ce qui est le plus nécessaire pour la construction de celui de ces appareils qu'on regarde maintenant comme le meilleur.

§ 2. Les deux parties les plus essentielles sont : le *corps frotté* et le *corps frottant*, ou *frottoir*.

---

(1) L'ambre s'appelle en grec ελεκτρον.

Le corps *frotté* est ordinairement, aujourd'hui, un plateau rond de verre poli; il est d'autant meilleur qu'il est plus grand : cependant, on lui substitue quelquefois une boule ou un cylindre de verre : au milieu du plateau, passe un axe métallique qui est assujéti dans une monture de bois, de sorte que cet axe peut tourner avec le plateau au moyen d'une manivelle.

Le *frottoir* consiste le plus souvent en deux ou quatre coussins alongés qui, pressés par un ressort, serrent entre eux les faces opposées du verre, lorsqu'on tourne le plateau : le fond des coussins est une plaque de métal; ils sont rembourrés avec du crin et recouverts avec du cuir qu'on enduit de quelque substance grasse ; puis on y répand, le plus également possible, un amalgame sec de mercure et de zinc. A chaque coussin, et du côté vers lequel se fait la rotation du plateau, on adapte un morceau de taffetas gommé qui s'attache au verre, lorsqu'on met la machine en mouvement. La monture qui porte les coussins, est de métal; elle doit être attachée aux montans qui supportent le plateau, non par du métal, mais par un colonne ou un gros tube de verre. Pour l'usage, il faut attacher à la partie métallique des coussins, une chaîne de laiton qu'on laisse tomber sur le pied de bois de la machine, ou mieux encore, sur le sol. Cette circonstance est très-essentielle ; car les phénomènes sont beaucoup plus forts, lorsque le frottoir a une communication métallique avec le sol, que lorsque cette communication manque.

§ 3. Avec les parties de la machine que nous venons de décrire, on peut déjà rendre sensibles les principaux phénomènes dont on a coutume de nommer l'ensemble *Électricité*. Lorsqu'on a tourné le plateau, l'air étant chaud et sec, on observe les phénomènes suivans :

1.° On sent une odeur phosphorique.

2.° En approchant peu-à-peu du plateau la main ou le visage, on éprouve, à une certaine distance, une sensation telle que si des toiles d'araignées venaient vous toucher.

3.° Si l'on approche du plateau la jointure d'un doigt, ou une boule de métal, il se produit une petite étincelle pétillante qui fait éprouver une faible piqûre.

4.° Dans l'obscurité, ce phénomène est beaucoup plus frappant ; et, à mesure qu'on tourne la machine, on voit des rayons de feu qui

s'élancent de dessous le taffetas gommé, et serpentent sur le plateau (1).

5.° Lorsqu'on cesse de tourner la machine, tous ces phénomènes continuent encore quelque temps, quoique cependant avec une intensité sensiblement décroissante ; mais on peut alors observer encore le phénomène électrique, le plus remarquable à beaucoup d'égards, celui de l'*attraction* et de la *répulsion électriques*. Dans cet état, le plateau attire tous les corps légers ; il les retient un instant, et ensuite il les repousse. Lorsqu'on approche du plateau des boules de liége suspendues au bout d'un fil, ce phénomène devient très-digne d'attention. Si le fil est de soie et sec, la petite boule est attirée, s'attache un instant au plateau, puis est repoussée. Cette répulsion est durable; mais si l'on touche la petite boule, elle est de nouveau attirée et repoussée. Au contraire, si le fil est de lin, et surtout s'il est humide, la boule sera de même attirée, mais non pas repoussée.

§ 4. Lorsqu'un corps manifeste ces phénomènes, ou seulement le dernier que nous venons de décrire, on dit qu'il est *électrique* ou *électrisé*; et la substance inconnue qui produit ces phénomènes, se nomme la *Matière électrique*.

§ 5. Il reste encore à parler d'une partie principale de la machine électrique, du *Conducteur*. C'est un corps qui est ou entièrement de métal, ou du moins recouvert par une substance métallique, fût-elle seulement de papier doré ou argenté. Sa grandeur et sa forme sont

---

(1) La lumière qui se manifeste dans l'explosion électrique, me paraît être le simple résultat de la compression que l'air et les vapeurs éprouvent quand elles sont traversées par l'électricité. Car nous savons maintenant que la seule compression dégage la lumière des fluides aériformes, et, d'un autre côté, les fortes explosions produites par l'électricité, prouvent que, dans son passage à travers les corps, elle exerce une énorme compression. Il est vrai que la lueur électrique s'observe aussi dans le vide : mais qu'est-ce-que nous appelons le vide, si ce n'est un espace occupé par l'air réduit au plus à $\frac{1}{760}$ de sa densité, ou, à défaut d'air, par les vapeurs de l'eau, de mercure et d'autres corps? Si l'air plus dense laisse échapper de la lumière à une compression moindre, un air plus rare en laissera de même échapper par une compression infiniment plus forte, telle que celle que le rapide passage de l'électricité peut produire. Je crois avoir le premier émis cette idée, en rendant compte de mes expériences sur la formation de l'eau par la seule compression. (*Voyez* les *Annales de Chimie*.)

arbitraires ; cependant, c'est communément un cylindre arrondi par ses deux extrémités ; quelquefois on lui donne la forme d'une boule. Pour un plateau de deux pieds, on le fait long d'environ trois pieds, et on lui donne un diamètre de cinq à six pouces : il est en communication avec le plateau, au moyen de deux branches de métal arrondies qui présentent quelques pointes environ à la distance d'un demi-pouce du plateau, à l'endroit où l'électricité produite s'écoule de dessous le taffetas gommé : on doit éviter qu'il ne s'y trouve aucunes autres pointes ou angles proéminens. Ces branches doivent être disposées de manière qu'on puisse les enlever et les échanger l'une avec l'autre pour un usage très-important dont nous parlerons par la suite, et qui consiste à mettre le conducteur en communication avec le frottoir, au lieu d'y mettre le plateau. Une circonstance essentielle, c'est que le conducteur soit placé sur des supports de verre, et qu'il n'ait aucune communication avec les pieds de la machine.

§ 6. Dès qu'on tourne le plateau, le conducteur devient électrique sur toute sa surface ; ce qui se manifeste par tous les phénomènes mentionnés à l'art. 3. Il y a seulement, dans la production de l'étincelle, cette différence, qu'elle est plus grande, plus pétillante, et qu'elle pique davantage; ainsi, elle peut s'élancer à la distance de plusieurs pouces, sur-tout lorsque l'air est très-sec. Une autre différence fort remarquable, c'est que, par une seule de ces étincelles, toute l'électricité du conducteur lui est est enlevée en une fois, tandis, au contraire, que le plateau ne perd son électricité qu'à l'endroit où l'on tire l'étincelle, même quand on a cessé de le tourner. Si l'on fait communiquer le conducteur à la terre, ou au pied de la machine, par une chaîne de laiton, il ne montre plus la moindre électricité, lorsqu'on tourne le plateau.

§ 7. Ces expériences font voir clairement les différentes propriétés du verre et du métal, par rapport à l'électricité. Le verre s'électrise par le frottement; il retient fortement sur sa superficie, l'électricité qui y est accumulée, et ne la laisse enlever que précisement à la place où on le touche. Le métal, au contraire, ne s'électrise pas par le frottement; il reçoit l'électricité instantanément dans toute son étendue, lorsqu'il est mis en contact avec le verre; mais instantanément aussi cette électricité l'aboudonne, lorsqu'on lui pré-

sente pour passage le doigt ou quelque autre corps, principalement les corps métalliques.

On voit par là pourquoi le conducteur doit être supporté par des colonnes de verre, et pourquoi il ne s'électrise pas, lorsqu'il est en communication avec la terre. Le métal *conduit* la matière électrique, et le verre ne la conduit pas.

§ 8. Le verre et le métal ne sont pas les seuls corps qui montrent ces dispositions contraires par rapport à l'électricité. Ils sont seulement, chacun dans leur genre, ceux qui les manifestent au plus haut degré (1). On peut donc, sous ce point de vue, diviser les corps en *non-conducteurs* et en *conducteurs* de l'électricité.

Dans la première classe se trouvent, 1.° parmi les substances inorganiques, le verre ordinaire et toutes les vitrifications avec leurs principes constituans chimiques essentiels; les terres et les oxides de métaux, et de plus toutes les cristallisations naturelles de ces substances, par conséquent toutes les pierres précieuses et presque toutes les espèces de pierres dures qui ne sont vraisemblablement que des conglomérations de petits cristaux. — Le soufre et l'air atmosphérique se rangent encore dans cette classe; cependant, ce dernier a toujours quelque faculté conductrice tantôt plus forte, tantôt plus faible, qui dépend de la quantité d'eau qui s'y trouve en vapeur. 2.° La plupart des substances animales sèches, particulièrement la soie, la laine, les cheveux, les plumes. 3.° Beaucoup de substances végétales sèches, principalement toutes les résines et les mélanges resineux, la cire à cacheter, l'ambre ou succin, le coton, le papier, le sucre, le bois sec, sur tout lorsqu'il est desséché par le feu; les huiles grasses sont aussi comprises dans cette classe. Parmi tous ces corps, il n'en est cependant aucun qui ne conduise l'électricité jusqu'à un certain point. Les meilleurs non-conducteurs sont le verre, le soufre, la résine, la gomme-laque, la soie; les autres sont plutôt seulement de mauvais conducteurs.

Les meilleurs conducteurs sont, parmi les corps inorganiques, les métaux, l'eau et le charbon : parmi les corps organiques, les animaux

(1) Les résines et principalement la gomme-laque, sont encore moins conductrices que le verre; mais on ne peut pas les employer aussi commodément pour faire des machines électriques d'une grande dimension.

et les végétaux vivans; et même la fibre végétale dégagée de toutes les parties huileuses et résineuses, paraît être un assez bon conducteur, du moins il en est ainsi de la toile de lin; le bois, le coton, etc., sont peut-être seulement mauvais conducteurs, à cause des parties huileuses et résineuses qu'ils contiennent (1).

On nomme aussi les corps non-conducteurs, *corps électriques*, et les conducteurs, *corps non-électriques*, dénominations qui ne sont pas bien choisies (2).

§ 9. On appelle *isoler* un corps, ne lui laisser de communication avec le reste des corps visibles que par des corps non-conducteurs, ou mauvais conducteurs de l'électricité. On a divers supports qui servent à suspendre, poser et assujétir des corps : un support de cette espèce, se nomme un *isoloir*. Les meilleures matières pour isoler, sont le verre, la cire à cacheter, la soie et le bois séché au feu (3).

§ 10. Si l'on compare les phénomènes de l'attraction et de la répulsion (pag. 213, § 3), avec ce qui a été dit sur la faculté conductrice des corps, il en résulte un principe important pour la théorie des phénomènes électriques.

C'est que *les corps électrisés et les corps non-électrisés s'attirent entre eux, et qu'au contraire les corps électrisés de même électricité, se repoussent.*

La boule de liége attachée au fil de soie non-conducteur, est attirée d'abord, lorsqu'elle n'est pas électrisée; mais elle est repoussée ensuite dès qu'elle s'est saturée d'électricité, et cette répulsion persiste jus-

(1) Il y a beaucoup de raisons pour souhaiter que des chimistes instruits commencent à s'occuper de l'électricité. Le rapprochement qu'on vient de faire entre les corps conducteurs et les non-conducteurs, fait conjecturer qu'entre les propriétés électriques et les combinaisons chimiques des corps, il y a une certaine connexion que le seul physicien mécaniste ne peut découvrir.

(2) A la rigueur, la distinction des corps conducteurs et non-conducteurs n'est guère préférable. Tous les corps se laissent pénétrer par une forte électricité : la gomme-laque elle-même, lorsqu'elle est répandue en couche très-mince sur un corps, se laisse traverser par l'étincelle électrique. Il faut donc regarder toutes ces distinctions comme relatives, ou comme n'exprimant rien d'absolu.

(3) Rien n'isole mieux qu'un petit cylindre de gomme-laque. M. *Coulomb* a prouvé qu'un fil de gomme-laque, tiré à la flamme d'une bougie, est presque un isoloir parfait pour de petites quantités d'électricité.

qu'à ce que la boule ait perdu son électricité par le contact avec un conducteur non-isolé. Si, au contraire, elle est suspendue à un fil de lin conducteur, et non-isolé, elle ne peut se saturer d'électricité, et par cette raison elle est continuellement attirée.

§ 11. C'est d'après ces phénomènes de l'attraction et de la répulsion électrique, qu'on a imaginé presque toutes les espèces d'*électroscopes* et d'*électromètres*, instrumens qui servent à évaluer ou à mesurer l'intensité de l'électricité, mais qui, pour la plupart, n'atteignent que très-imparfaitement ce but (*) : ils sont cependant utiles dans beaucoup d'expériences, et, pour cela, nous devons en donner ici quelques notions. Le plus simple instrument de cette espèce, est l'*électromètre à fil*. Deux petites boules de liége ou de moelle de sureau, sont attachées aux extrémités d'un fil de lin ; on les suspend au conducteur ou à un autre corps électrisé, de manière qu'elles se touchent par l'effet naturel de la pesanteur : aussitôt qu'elles sont électrisées, elles s'écartent l'une de l'autre, et d'autant plus que l'électricité est plus forte. On fait cet électromètre de beaucoup de grandeurs différentes ; pour les faibles degrés d'électricité, il doit être très-petit. La plupart des électromètres ne sont que des perfectionnemens de celui-ci. Les limites d'un livre élémentaire, ne permettent point de décrire séparément ces divers instrumens, et même les principes de plusieurs d'entre eux ne pourraient être ici exposés avec clarté. Nous indiquerons donc seulement comme les préférables et les plus utiles, *la bouteille électroscopique* de *Cavallo* ; *l'électromètre à air* de *De Saussure* ; *l'électromètre à feuille d'or* de *Bennet*, et *l'électromètre à paille* de *Volta*. (*Voyez Gehler* et *Fischer*, aux articles *Electrometer* et *Luftelectrometer* (1).

Nous ne devons pas pourtant omettre *l'électromètre à cadran* de

(*) *L'électromètre* sert à mesurer l'intensité électrique, et *l'électroscope* à découvrir sa nature.

(1) Il est étonnant que l'auteur ne parle point de la *Balance électrique* de *Coulomb*, seul instrument qui donne la mesure exacte de l'électricité. Je reviendrai plus loin sur ce sujet. « On ne peut supposer que cette omission soit le résultat de quelques préventions nationales, puisque, comme on le verra dans le chapitre suivant, M. *Fischer* rend la plus éclatante justice au physicien français *Dufay*. »

Henley, puisqu'on le considère comme une dépendance essentielle d'une machine électrique. Un demi-cercle, ou un quart de cercle d'une matière quelconque, est divisé en degrés, et assujéti par son diamètre à une colonne verticale de métal, ou de bois non séché au feu, de manière cependant qu'il soit un peu éloigné de la colonne, mais que son diamètre lui soit parallèle. Au centre est attaché un petit pendule très-mobile qui peut être fait d'un filament de baleine, et à l'extrémité duquel se trouve une petite boule de liége. La colonne qui est beaucoup plus longue que le pendule, peut être vissée par son extrémité inférieure, perpendiculairement sur le conducteur de la machine; ou bien on peut la maintenir droite sur un support particulier de métal qui s'enlève à volonté. Cet électromètre placé sur le conducteur, reçoit son électricité, et comme le pendule et la colonne sont électrisés de la même manière, le pendule est repoussé de la colonne, et s'élève d'autant plus haut sur le quart de cercle divisé, que l'électricité est plus forte. (*Voyez Gehler*, I, 808; *Fischer*, II, 79.) (1)

§ 12. La puissance conductrice des corps ne dépend pas seulement de leur constitution matérielle, mais encore de leur forme. Si, tandis qu'on tourne le plateau, on approche du conducteur un corps aigu, de quelle matière que ce soit, on peut remarquer déjà, à un éloignement considérable, le pouvoir de sa force conductrice : les pointes de métal montrent cet effet dans sa plus grande force. Ce pouvoir conducteur des pointes, se manifeste de même lorsqu'on attache une pointe au conducteur, de manière que la partie aiguë soit dirigée vers l'air : il est alors impossible d'électriser le conducteur à un degré considérable.

Au contraire, plus les corps sont larges et arrondis, plus la déperdition de la matière électrique est difficile. Il faut alors rapprocher les corps bien davantage, et le passage se fait au moyen d'une étincelle.

§ 13. Il y a toujours dans l'air, en même temps que ce courant effluent d'électricité sort des pointes, un certain mouvement qu'on peut sentir, ou qu'on peut rendre très-visible au moyen d'une flamme

---

(1) Parmi les expériences d'électricité seulement amusantes qui se font au moyen de l'attraction et de la répulsion, nous citerons la *Danse électrique*, *electrische Tanz*, *Gehler*, I, 740; et le *Carillon électrique*, *electrische Glockenspiel*, *Gehler*, II, 509.

de bougie, ou de quelque vapeur. C'est sur ce mouvement de l'air qu'est fondée la *roue électrique*. Cette roue consiste en une bande de cuivre en forme d'S, et soigneusement aiguisée aux deux bouts : ce petit instrument peut tourner circulairement sur une pointe placée à son centre ; lorsque cette pointe est vissée sur le conducteur, et qu'on électrise celui-ci, la roue placée dessus tourne en arrière avec une grande vitesse (1).

Une circonstance importante à remarquer ici, c'est que le mouvement de l'air est toujours dirigé vers la partie aiguë de la pointe.

§ 14. De même qu'on peut faire passer l'électricité du plateau au principal conducteur, on peut aussi la communiquer de celui-ci à tout autre conducteur, pourvu qu'il soit isolé. Ainsi, par exemple, un homme peut être éléctrisé lorsqu'il se tient sur un *isoloir* ; on appelle ainsi, dans cette circonstance, un tabouret supporté par quatre pieds de verre verni : son corps montre alors tous les phénomènes électriques, sans qu'il éprouve aucun effet ni aucune sensation particulière, si ce n'est une légère piqûre, lorsqu'on en tire des étincelles.

§ 15. Les effets chimiques de l'électricité sont extrêmement remarquables : nous indiquerons seulement ici l'inflammation de l'esprit-de-vin chauffé et du gaz tonnant, au moyen de l'étincelle électrique (2). Dans la suite, on trouvera quelques autres phénomènes qui se rapportent à ceci.

Nous réservons pour un autre endroit les phénomènes électriques qui ont lieu dans l'obscurité et dans l'air raréfié.

---

(1) Ce phénomène peut être présenté d'une manière très-différente, mais qui exige trop de préliminaires pour être exposée ici. *Voyez* le *Traité de Physique* de *Biot*, tom. II, pag. 324.

(2) Ce que l'on nomme le gaz tonnant, est un mélange de deux parties d'hydrogène et d'une d'oxigène en volume.

CHAPITRE XXXIII.

Électricités opposées.

§ 1. DANS la première moitié du siècle précédent, *Dufay*, physicien français, avait déjà découvert qu'il existe deux espèces d'électricités, lesquelles, considérées isolément, ont la plus grande ressemblance, mais qui, comparées entre elles, se montrent cependant opposées dans les phénomènes : il nomma l'une *électricité vitrée*, et l'autre *électricité résineuse*, parce que la première est excitée, lorsque le corps frotté est de verre, et la seconde, quand il est de résine (1). Après la mort du *Dufay*, les physiciens parurent oublier la subtile différence des deux électricités dont la distinction fait un grand honneur à l'esprit d'observation de ce savant. Enfin, dans la seconde partie du même siècle, le célèbre *Franklin* continua cet examen, et montra si parfaitement la différence de ces deux électricités, que cette découverte est devenue depuis, la clef de l'explication des phénomènes électriques les plus remarquables. Au lieu des noms d'électricité vitrée et résineuse que *Dufay* avait choisis, *Franklin* adopta ceux d'*électricité positive* et *négative*; d'où il est devenu ordinaire d'indiquer l'une par le signe $+$E, et l'autre par le signe $-$E. Cependant, comme la dénomination de *Dufay*, se fonde sur un fait, et celle de *Franklin* sur une simple hypothèse, laquelle a encore beaucoup perdu de sa vraisemblance dans ces derniers temps, la dénomination de *Dufay* mérite d'être généralement conservée.

---

(1) La définition n'est pas tout-à-fait exacte. Le verre frotté avec une étoffe de laine, prend l'électricité que l'on nomme vitrée ; frotté avec une peau de chat, il prend l'électricité résineuse. Je ne connais pas de corps qui ne puisse acquérir les deux électricités par le frottement, en changeant de frottoir, ou en variant tant soit peu les circonstances où le corps frotté se trouve. Cependant la distinction des deux électricités n'en est pas moins réelle, parce qu'elle repose sur les répulsions et les attractions qui leur sont propres, et non pas sur la nature des corps qui les produisent.

§ 2. On sait à présent que les deux espèces d'électricité peuvent être excitées de beaucoup de manières, et qu'en effet elles se produisent toutes deux en même temps, l'une dans le corps frotté, l'autre dans le corps frottant (*). Ainsi, lorsque le conducteur de la machine électrique, est disposé de la manière décrite dans le précédent chapitre (pag. 214, § 5), il est aussi facile de charger le conducteur d'électricité résineuse que d'électricité vitrée ; il ne faut pour cela qu'isoler le frottoir, et faire communiquer le conducteur avec lui (pag. 212 et 214, § 2 et 5), puis mettre le plateau en communication avec le sol, ou en tirer continuellement, au moyen de quelques pointes placées de la manière convenable, l'électricité vitrée qui se produit sur sa surface.

§ 3. Lorsqu'on tourne le plateau, après avoir fait ce changement de disposition, le conducteur qui se trouve alors en communication avec le corps frottant, et qui en fait lui-même partie, devient électrique et montre tous les phénomènes indiqués au chapitre précédent (pag. 213, § 3). Seulement cette électricité est toujours beaucoup plus faible, ce qui n'est vraisemblablement qu'une circonstance accidentelle qui provient de ce que l'électricité vitrée qui s'écoule du conducteur au plateau, et qui contrarie les effets de la première, ne peut être entièrement enlevée au plateau, à mesure qu'elle s'y attache.

§ 4. La principale différence des deux électricités, s'observe dans les phénomènes de l'attraction et de la répulsion ; car deux corps, qui se repoussent lorsqu'ils ont la même électricité, s'attirent lorsque l'un a l'électricité vitrée, et l'autre l'électricité résineuse. De là se déduit cette loi :

Les électricités de même nom, se repoussent entre elles, et les électricités de noms opposés, s'attirent.

Pour se convaincre de l'exactitude de cette loi, on dispose la machine comme nous venons de le dire, de manière à donner au conducteur l'électricité résineuse, le plateau absorbant toujours l'électricité vitrée : celui-ci, comme corps non-conducteur, retient toujours un peu de cette électricité, quelque moyen qu'on prenne pour la lui enlever, à mesure qu'elle s'y dépose. Alors, on prend une boule de liége,

(*) On doit donc regarder comme une loi générale que *le corps frottant et le corps frotté acquièrent toujours des électricités diverses.*

ou de moelle de sureau, suspendue à un fil de soie; si l'on approche cette boule du conducteur, elle est attirée par lui; puis dès qu'elle est saturée de l'électricité résineuse, elle est repoussée : mais, dans cet état, elle est attirée par le plateau de verre; son électricité résineuse est détruite, elle se charge d'électricité vitrée, et alors elle est repoussée par le plateau; dans cet état, elle est de nouveau attirée par le conducteur, et l'on peut facilement trouver une position où la boule est alternativement repoussée et jetée, pour ainsi dire, de l'un à l'autre.

§ 5. On voit sensiblement dans cette expérience, qu'une électricité détruit l'autre. Cela devient encore plus manifeste, lorsqu'on dispose la machine pour produire l'électricité vitrée, avec la seule précaution d'isoler le frottoir et de le faire communiquer par une chaîne au conducteur non isolé : alors on ne trouve pas la moindre trace d'électricité dans le conducteur. Généralement, lorsqu'on réunit des degrés inégaux des deux électricités, la moins intense est toujours détruite, et la plus forte diminue. On conçoit, d'après cela, pourquoi il faut toujours que le plateau communique avec le conducteur, lorsque la machine est disposée pour l'électricité vitrée, et pourquoi ce doit être le frottoir, si la machine est disposée pour l'électricité résineuse (1).

§ 6. Sur ces rapports entre les deux électricités, exposés dans les deux précédens articles, se fonde la manière de les distinguer. L'ap-

(1) Généralement, quand deux corps isolés s'électrisent par leur frottement mutuel, l'un prend l'électricité vitrée, l'autre la résineuse. Cela arrive donc au plateau et au frottoir quand ils sont isolés : lorsqu'on fait communiquer le coussin avec le sol, le fluide vitré s'échappe à mesure qu'il est développé; ensorte que le plateau est encore constitué à l'état d'électricité vitrée et le frottoir à celui d'électricité résineuse : la chose a encore lieu quand le frottoir isolé communique au conducteur, mais l'effet a bientôt un terme; car l'électricité vitrée qui s'accumule sur le plateau, ne pouvant pas s'échapper, empêche de nouvelles quantités d'électricité vitrée d'y arriver, et par conséquent de se produire. Au lieu que, si l'on soutire par des pointes cette électricité vitrée du plateau, à mesure qu'elle y arrive, alors la décomposition du fluide naturel du conducteur, et l'arrivée de l'électricité vitrée sur le plateau, se continuent sans interruption, ce qui, par réciprocité, met le conducteur dans un état durable et croissant d'électricité résineuse et, c'est ainsi que s'explique ce qui a été dit (§ 2.)

pareil dont on se sert ordinairement pour cet objet, consiste en un électromètre à fil, suspendu et isolé, et en un bâton de cire à cacheter. On sait par expérience que la cire frottée avec la laine, le cuir et le lin, acquiert toujours l'élétricité résineuse. On communique à l'électromètre l'électricité qu'on veut éprouver, de sorte que les boules se repoussent, et demeurent quelque temps éloignées l'une de l'autre; alors on en approche la cire à cacheter frottée : si l'électromètre a l'électricté vitrée, une partie de cette électricité se trouve dissimulée (*) ou détruite par celle de la cire, et les fils se rapprochent; au contraire, s'il a l'électricité résineuse, ils s'éloignent plus qu'auparavant.

Phénomènes électriques dans l'obscurité et dans l'air raréfié.

§ 7. Dans l'obscurité, les deux électricités se distinguent encore d'une autre manière remarquable, c'est-à-dire, par une différence dans les phénomènes lumineux qui se produisent, lorsque l'électricité est soutirée par des pointes.

Si le conducteur est chargé d'électricité vitrée, et qu'on en approche une pointe, on voit déjà à une distance considérable, un point lumineux à l'extrémité de cette pointe, lequel devient plus brillant à mesure qu'on approche davantage. Si l'on assujétit la pointe au conducteur, et qu'on en approche la main, ou quelqu'autre corps conducteur, ce n'est pas un point lumineux qu'on aperçoit, mais un faisceau de rayons divergens.

Au contraire, si le conducteur est chargé d'électricité résineuse, les deux phénomènes sont justement en sens inverse.

§ 8. Nous allons joindre à ceci encore une autre expérience qui, à la vérité, ne montre pas si clairement la différence des deux électricités, mais qui est remarquable à d'autres égards.

Quoique l'air atmosphérique sec soit un mauvais conducteur de l'électricité, l'air très-raréfié se laisse cependant traverser par elle : l'expérience suivante en est une preuve. On raréfie l'air dans un vase de verre quelconque qui est fermé avec un couvercle métallique, par exemple, dans un récipient adapté à une machine pneumatique, ou dans un tube de verre préparé pour cet objet; alors,

---

(*) *Voyez* le chap. XXIV.

en faisant communiquer au conducteur une des extrémités du vase, et établissant à l'autre extrémité une communication avec le sol, on peut, dans l'obscurité, voir l'électricité s'écouler dans l'air raréfié, sous l'apparence d'une lumière blanchâtre. Ce phénomène qu'on pourrait nommer *aurore boréale électrique*, dure aussi long-temps qu'on tourne le plateau.

Il y a beaucoup de manières de varier cette expérience, et la plupart produisent des phénomènes lumineux très-agréables. Si l'on place aux deux extrémités du vase, deux pointes dirigées vers l'intérieur, la lumière s'échappe de l'une en divergeant, et pénètre dans l'autre en convergeant. Si le vase est un récipient, et qu'on assujétisse en-dedans du couvercle supérieur, une tige de métal au bout de laquelle est appliquée horizontalement une étoile de métal, la lumière électrique s'écoule de chacune de ses pointes vers le plateau inférieur, ce qui lui donne l'aspect d'une fontaine de feu. Si au lieu d'une étoile, on place à cet endroit un anneau ou un corps de quelqu'autre figure, on peut produire toutes sortes de changemens dans la forme du courant de lumière.

§ 9. Dans ces expériences, la circonstance suivante est digne d'attention. Lorsqu'on avance un conducteur près du vase dans lequel s'écoule la lumière électrique, il se fait un mouvement particulier de cette lumière à l'endroit dont il s'approche : on peut alors tirer des étincelles de ce conducteur; mais elles sont de forces très-variables. Cette observation prouve que l'attraction électrique agit même à travers le verre, quoiqu'il soit non-conducteur.

Nous remarquerons encore sur cela, que la phosphorescence que montrent quelques baromètres qui ne sont pas absolument privés d'air, lorsque dans l'obscurité on fait monter et redescendre le mercure en penchant le tube, a sa cause dans ce même phénomène électrique (*).

(*) Le frottement des liquides, du mercure, par exemple, contre la paroi intérieure du baromètre, développe de l'électricité : lorsqu'on penche le baromètre, de manière que la colonne de mercure remplisse rapidement la partie vide du tube, si l'expérience est faite dans l'obscurité, on voit se développer une lueur phosphorique semblable à celle que produit dans le vide, un courant continu d'électricité.

§ 10. Ces phénomènes lumineux ne diffèrent que peu ou point du tout pour les deux électricités. *Franklin* et beaucoup de partisans de son hypothèse, croyaient qu'il y avait une différence, en ce que, lorsque le conducteur est chargé d'électricité vitrée, l'électricité s'écoule toujours du conducteur; et quand, au contraire, il est chargé d'électricité résineuse, la lumière électrique passe du sol dans le conducteur. Mais c'était là plutôt une conséquence de l'hypothèse qu'une véritable observation; car, avec l'attention la plus exacte sur tous les mouvemens de la lumière électrique, il est impossible de reconnaître les directions de ce mouvement, parce qu'il se fait avec une vitesse extrême : il paraît à l'œil le plus attentif, tantôt venir et tantôt s'éloigner, et tantôt la lumière électrique paraît se diriger en même temps vers les deux côtés.

Hypothèse de Franklin.

§ 11. Selon *Franklin*, les phénomènes électriques sont les effets d'une seule matière infiniment subtile qui se répand dans tous les corps, d'après des lois semblables à celles du calorique; ses particules se repoussent entre elles, mais elles sont plus ou moins attirées par les autres corps. Tant que cette matière électrique se trouve à l'état d'équilibre dans un système de corps, aucun phénomène électrique n'a lieu; mais si, au contraire, cette matière s'accumule ou diminue quelque part au-dessus ou au-dessous du point d'équilibre, le corps est électrisé dans les deux cas, positivement dans le premier, négativement dans le second (*), et les phénomènes électriques sont produits par les efforts que fait la matière électrique pour rétablir l'équilibre rompu.

§ 12. C'était sur-tout la remarque que le frottoir ne doit pas être isolé, qui conduisit très-naturellement *Franklin* à cette opinion; car, dans le fait, on est presque forcé d'admettre que l'électricité qui s'accumule sur le plateau, s'écoule du frottoir. La possibilité de charger successivement le conducteur avec les deux électricités, s'explique très-facilement par cette hypothèse. On ne peut pas nier non plus que la plupart des phénomènes électriques, ne s'en déduisent assez bien.

(*) Cet *état négatif* ne serait qu'une privation ou une absence d'électricité.

Cependant l'explication de l'attraction et de la répulsion n'est pas encore sans difficulté. Si deux corps électrisés positivement sont approchés l'un de l'autre, ce sont, dans cette hypothèse, leurs atmosphères électriques environnantes qui, étant pressées, les forcent à se repousser. Si deux corps négativement électriques sont approchés l'un de l'autre, c'est l'électricité naturelle placée entre leurs atmosphères raréfiées, et par là même devenue plus intense, qui s'efforce de se répandre, et oblige ainsi les corps à s'écarter. Enfin, si deux corps électrisés, l'un positivement, l'autre négativement, sont placés l'un près de l'autre, ils s'approchent, parce que l'atmosphère positive du premier est attirée par l'atmosphère négative du dernier (*). Nous trouverons aussi, par la suite, plusieurs phénomènes qui ne peuvent s'expliquer par cette hypothèse que d'une manière forcée. Parmi les phénomènes de cette espèce dont il a déjà été question, se trouve cette circonstance, que, lors du passage de d'électricité par une pointe; le courant d'air qu'elle produit, est toujours dirigé vers la partie aiguë de la pointe (pag. 219, § 13), et qu'il en est encore de même, lorsqu'on électrise le conducteur négativement, selon l'expression de *Franklin*.

Voyez, pour connaître cette hypothèse, dans ses détails, la lettre de *Franklin* sur l'électricité.

Hypothèse de Symmer.

§ 13. *Robert Symmer*, dans la I.re partie du 51.e volume des *Transactions philosophiques*, publia une autre hypothèse qui a détruit celle de *Franklin* chez la plupart des physiciens, parce qu'effectivement elle satisfait mieux aux phénomènes. Selon *Symmer*, il y a deux matières électriques qui s'attirent l'une l'autre, tandis, au contraire, que les particules de chacune d'elles prises isolément, se repoussent entre elles; leur réunion, qu'on nomme *électricité combinée*, produit l'état d'équilibre; leur désunion produit l'état électrique. L'une, prise séparément, donne les phénomènes de l'électricité vitrée; l'autre, ceux de l'électricité résineuse.

Lorsque deux corps ont tous deux l'électricité vitrée, ou tous deux la résineuse, leurs atmosphères homogènes se repoussent; lorsque l'un

---

(*) Ou parceque l'atmosphère condensée ou accumulée autour du premier, vient remplir l'espace raréfié ou vide autour du second.

a l'électricité vitrée et l'autre la résineuse, leurs atmosphères hétérogènes s'attirent.

L'électricité combinée du frottoir est décomposée par le frottement; le plateau attire l'électricité vitrée ; l'électricité résineuse, devenue libre, s'échappe dans le sol par le conducteur attaché au frottoir; à sa place, la nouvelle électricité combinée afflue par ce même conducteur ; et aussi long-temps qu'on tourne la plateau, cet effet continue d'une manière non interrompue.

Par cette hypothèse, on explique de même, sans effort, quelques phénomènes électriques plus compliqués qui se présenteront dans la suite.

§ 14. Les hypothèses plus anciennes sont tout-à-fait inadmissibles. Parmi les plus nouvelles, celle de *Deluc*, qu'on trouve dans ses *Nouvelles idées sur la Météorologie*, peut seule mériter quelque attention. Les Dictionnaires de Physique donnent, à l'article *Électricité*, une courte exposition de cette hypothèse et de toutes les autres.

On peut douter qu'aucune de ces hypothèses soit tout-à-fait exacte; mais celle des deux électricités, de *Symmer*, doit avoir incontestablement la preférence, parce que c'est la manière la plus commode de satisfaire à l'explication des phénomènes électriques (*).

ADDITION.

1.° *De la Machine électrique.*

« Nous croyons qu'il ne sera pas hors de propos de revenir sur ce qui a été dit dans le texte et dans les notes sur les dispositions à donner à quelques parties

---

(*) Le célèbre *Æpinus* entreprit de ramener la théorie à un point tel qu'elle pût être soumise à l'épreuve du calcul ; mais ce ne fut qu'en admettant la répulsion des molécules des corps, hypothèse qui ne pouvait se soutenir. C'est le même physicien qui, un des premiers (*Tent. Theor. Elect. et Mag.*, pag. 38), soupçonna que le fluide électrique agit en raison inverse du carré de la distance : il disait que s'il avait à choisir, il donnerait la préférence à cette même loi qui avait l'analogie pour elle. On voit qu'il présumait que la loi des mouvemens célestes, devait s'étendre à toutes les actions à distance, et c'est enfin ce qu'a démontré le célèbre *Coulomb*. On doit savoir gré à *Franklin* et à *Æpinus* de l'usage ingénieux que ces physiciens ont fait de leurs hypothèses pour lier des phénomènes qui jusqu'alors étaient épars.

de la machine électrique pour accumuler, à volonté, sur le conducteur isolé les électricités vitrée et résineuse :

Dans l'usage ordinaire de la machine électrique, il faut bien se garder d'isoler les coussins ; il faut, au contraire, établir entre eux et le sol une communication métallique : cette communication du frottoir avec le sol, réservoir commun d'électricité, permet à l'électricité résineuse développée sur la surface du frottoir par le frottement, de se combiner avec l'électricité vitrée du sol, nécessaire pour la saturer, combinaison qui ramène le frottoir à l'état naturel, et qui remet les choses dans le premier état ; en sorte que le plateau se charge d'une nouvelle portion d'électricité vitrée, et ainsi de suite. L'office du conducteur isolé est d'enlever cet excès d'électricité vitrée du plateau, à mesure qu'il se développe ; cette accumulation sur le plateau ne cesse que lorsque la force répulsive totale des molécules du fluide vitré, ne permet plus l'introduction d'une nouvelle quantité de l'électricité du plateau. Le taffetas attaché au frottoir qui s'étend sur la surface du verre, la préserve du contact de l'air dans le voisinage du contact, et conséquemment s'oppose à la déperdition de l'électricité vitrée. Si on isole les coussins pendant le frottement, et qu'on examine la nature de l'électricité acquise par le plateau, on reconnaîtra qu'elle est encore vitrée, et qu'ainsi les coussins prennent encore l'électricité résineuse. Supposons actuellement qu'on veuille charger le conducteur toujours isolé, d'électricité résineuse : on supprime la communication entre les frottoirs et le sol et on l'établit entre le conducteur et les coussins : alors l'électricité vitrée acquise par le plateau, ne lui est plus fournie que par le système formé des frottoirs et des branches du conducteur qui font corps avec eux, de sorte que ceux ci perdant cette portion de leur électricité combinée, se trouvent chargés d'un excès d'électricité résineuse : dans cette expérience, on ôte les pointes dont le conducteur est armé, ou on les dispose de manière à les mettre en contact avec le frottoir. On doit encore, pour ce cas, amener devant le plateau de verre deux branches métalliques garnies de pointes et communiquant au sol, afin de neutraliser toute l'électricité vitrée dont sa surface est couverte ; car, s'il gardait cette électricité, il ne s'en développerait plus de nouvelle, lorsque le plateau passerait une seconde fois entre les coussins. Il est inutile de revenir sur le cas où le conducteur ne serait pas isolé. »

2.° *De la Balance électrique.*

M. *Coulomb* a singulièrement perfectionné les idées de *Symmer* ; on peut même dire qu'il les a, le premier, réduites en théorie exacte, sur-tout par la découverte qu'il a faite de la loi suivant laquelle s'exercent les attractions et les répulsions électriques ; car ce n'est pas assez pour un physicien rigoureux de savoir, en général, que les corps électrisés de telle manière, s'attirent, ou de telle autre, se repoussent ; il faut, s'il veut adapter une hypothèse à ces faits, que

cette hypothèse puisse les représenter avec exactitude, c'est-à-dire, qu'on puisse en déduire tous les détails des phénomènes par un calcul rigoureux. Or, c'est à quoi a conduit la découverte de M. *Coulomb*.

Pour la faire concevoir, il est nécessaire de donner une idée de l'instrument avec lequel elle a été faite, et que M. *Coulomb* a nommé une *Balance électrique*. (*)

A un fil d'argent très-fin, fixé par une de ses extrémités à quelque corps solide, on suspend une aiguille longue et mince de gomme-laque, substance qui laisse très-difficilement écouler l'électricité; on dispose cette aiguille de manière qu'elle soit horizontale, et l'on colle à un de ses bouts un très-petit cercle de papier doré : ce cercle est le corps auquel on communique l'électricité; l'aiguille de gomme-laque sert à l'isoler, et le fil d'argent, par sa force de torsion, sert à mesurer la force attractive ou répulsive qu'exercent sur lui les corps électrisés qu'on lui présente.

On conçoit, en effet, qu'il faut une force, à la vérité fort petite, mais cependant déterminée et constante, pour faire tordre un pareil fil d'un tour ou d'un demi-tour, et par conséquent pour déranger d'autant l'aiguille de gomme-laque de la situation d'équilibre où elle s'était naturellement placée. Ainsi, plus l'action répulsive ou attractive de l'électricité sera forte, plus l'angle décrit par le petit cercle de papier doré sera considérable. On pourrait donc connaître comment l'action électrique varie avec la distance, si l'on connaissait les forces de torsion correspondantes à des déviations différentes de l'aiguille de gomme-laque. Or, c'est à quoi l'on peut fort aisément parvenir; car M. *Coulomb* a prouvé, par des expériences très-précises, que la force de torsion, dans un fil de métal d'une certaine longueur, est exactement proportionnelle à l'angle de torsion; et, pour éviter les différences que la forme irrégulière des corps pourrait produire, on emploie pour corps attirant ou repoussant, une sphère de cuivre pareillement isolée à l'extrémité d'un cylindre de gomme-laque : le petit cercle de papier doré sur lequel elle doit agir, peut être considéré comme un point. On place la sphère de manière qu'elle touche le cercle dans la position d'équilibre où il s'arrête naturellement; et, pour éviter les erreurs que l'agitation de l'air pourrait produire, tout l'appareil est enfermé dans une cage de verre, sur les parois de laquelle on trace des divisions horizontales qui servent à mesurer les angles décrits depuis le point de contact.

Cet instrument se nomme une *balance électrique*, parce qu'il sert à mesurer et à peser, pour ainsi dire, l'électricité. Voici maintenant la manière d'en faire usage :

On ôte la sphère de cuivre en la prenant par son support de gomme-laque, et on lui communique une certaine quantité d'électricité, en la faisant toucher

---

(*) On la trouve dans tous les cabinets de physique.

à un conducteur électrisé ; puis on la replace dans la balance, à sa position ordinaire. Alors, le petit morceau de papier doré qui la touche dans sa situation naturelle, prend, par le contact, une portion de cette électricité, et il est repoussé à l'instant. L'aiguille décrit donc un angle, en s'éloignant de la sphère électrisée, et, après plusieurs oscillations, elle se fixe dans une certaine position. Il est clair qu'alors la torsion éprouvée par le fil d'argent, fait équilibre à la force répulsive, et peut ainsi lui servir de mesure. Pour fixer les idées, supposons que cette torsion, ou la force répulsive qui agit sur l'aiguille, soit de 36°.

Alors, si vous tordez le fil par force en sens contraire, ce que l'on peut faire au moyen d'un index placé au sommet de la machine, et auquel ce fil est attaché, il est clair que la torsion devenant prépondérante, l'emportera sur la force répulsive, et le petit cercle se rapprochera de la sphère : ce rapprochement sera d'autant plus sensible, que le fil sera tordu davantage. Supposons donc que l'on tourne l'index jusqu'à ce que l'écart de l'aiguille ne soit plus que de 18°, au lieu de 36° qu'il était d'abord ; on trouvera que, pour la ramener à cette position, il a fallu tordre le fil de 126°.

Cette torsion s'ajoute évidemment aux 36° qui avaient été précédemment occasionnés par l'action de la force répulsive ; et la torsion totale serait de 162°, si, dans le second cas, le petit cercle était resté à la même position que dans le premier ; mais comme il s'est rapproché de 18°, il s'ensuit que le fil sera détordu d'autant ; ainsi, la torsion véritable est 162° — 18° = 144° (*).

En rapprochant ces résultats, on voit que, lorsque les écarts de l'aiguille ont été 36° et 18°, les forces de torsions qui faisaient équilibre à la force répulsive, ou, ce qui revient au même, les intensités de cette force répulsive, étaient représentées par 36° et 144° ; d'où il suit que, si les écarts de l'aiguille sont comme 2 à 1, comme il arrive ici, ou comme 1 à $\frac{1}{2}$, les forces répulsives sont comme 1 à 4 ; c'est-à-dire, que la force répulsive de l'électricité augmente comme le carré de la distance diminue, ou diminue comme le carré de la distance augmente, et généralement qu'*elle est réciproque au carré de la distance.* Toutes les

---

(*) Représentons par $a\ b'\ b$ (*fig.* 57) l'arc de 36° décrit par la boule b, en vertu de la répulsion, le degré o étant en a : la torsion du fil, étant zéro, lorsque la boule b est en a, la force répulsive est contrebalancée par une torsion de 36° exercée dans le sens ab : on tord le fil de 126° suivant ba, et comme lorsque la boule b est ramenée en a, la torsion du fil est nulle, cette torsion amènera cette boule en d' à 126° au-delà de a : mais au contraire, la force répulsive la retient en b' : donc, à cette distance, la force répulsive faisait réellement équilibre à une torsion de 126° + 18° = $d'a + ab'$ = 144°, comme on le trouve dans le texte.

autres expériences faites de la même manière et avec des intensités diverses, donneraient le même rapport. En appliquant la même méthode aux attractions électriques, on les trouve soumises à la même loi.

Pour plus de simplicité, on a supposé ici que la distance de la sphère et du petit morceau de papier doré, est mesurée par l'arc de cercle qui les sépare. Cela n'est point tout-à-fait exact, et c'est la corde de l'arc qui est la mesure de la distance. Mais, lorsque les arcs sont petits, comme nous le supposons dans cet exemple, la différence n'est pas très-considérable, et d'ailleurs on a soin d'y avoir égard dans un calcul rigoureux : c'est même avec cette correction que la loi précédente est exacte. Il est remarquable qu'elle est la même que celle des attractions célestes.

Au moyen de ce qui précède, la théorie des deux fluides, telle que M. *Coulomb* la présente, peut être réduite à cette hypothèse.

On suppose les phénomènes électriques produits par l'action réciproque de deux fluides invisibles et impondérables, dont les propriétés sont que les molécules de chacun d'eux se repoussent entre elles, et attirent celles de l'autre fluide, suivant la raison inverse du carré des distances. De plus, à distance égale, *le pouvoir attractif est égal au pouvoir répulsif :* cette égalité est nécessaire pour que, dans un corps à l'état naturel, les deux électricités combinées n'exercent aucune action à distance.

D'après cette hypothèse qu'il faut bien se garder de prendre pour une réalité, on représente tous les phénomènes électriques, et l'on peut même en assujétir plusieurs à un calcul rigoureux ; mais il faut n'y voir autre chose qu'un moyen commode de les expliquer, et l'on peut seulement en conclure que les phénomènes se passent comme s'ils étaient produits par deux fluides doués des propriétés précédentes ; car la vraie nature de l'électricité est encore inconnue.

CHAPITRE XXXIV.

Distance explosive, Sphère d'activité, Electricité accumulée.

§ 1. Lorsqu'on approche d'un conducteur électrisé un corps conducteur non-aigu, il se fait à un certain éloignement, ainsi que nous l'avons vu (pag. 215, § 6), un passage de l'électricité au moyen d'une étincelle, et la même sorte d'électricité que possède le conducteur, est communiquée par là au corps approché. Cette manière d'électriser un corps, se nomme *communication de l'électricité.* Si le corps qui

l'a reçue, est bien isolé, il conserve cette électricité, lors même qu'il n'est plus en présence du conducteur qui la lui a donnée. On nomme l'espace environnant autour du corps électrisé, au-dedans duquel s'opère cet effet, sa *distance explosive*; et l'on dit qu'un conducteur donne des étincelles de 4 à 6 pouces, quand le passage se fait à ces distances. Au reste, la distance explosive est très-variable, selon la force de l'électricité, selon la puissance conductrice du corps approché, selon la forme de ce corps, enfin selon les qualités de l'air environnant.

Sphère d'activité.

§ 2. L'action de l'électricité n'est pas limitée à la distance explosive; elle se manifeste au-delà de cette distance, d'une manière à la vérité moins frappante, mais peut-être encore plus digne d'attention. La loi de cette action se démontre très-clairement par l'expérience suivante :

On prend un conducteur isolé, par exemple, un tube de métal; on applique à l'une de ses extrémités un électromètre sensible, et l'on présente son autre extrémité au conducteur de la machine : on remarque alors, par l'électromètre, que le conducteur isolé donne des signes d'électricité, bien avant la distance explosive, et toujours de la même électricité que le conducteur de la machine. Cependant, cette électricité se distingue de celle que produit l'étincelle, par cela que si l'on éloigne le corps du conducteur, elle diminue de même qu'elle avait augmenté, lorsqu'on l'approchait; tandis qu'au contraire l'électricité communiquée par une étincelle, ne subit aucun affaiblissement par le changement de place dans les limites intérieures de la distance explosive, si ce n'est celui que produit inévitablement la force conductrice de l'air humide. On nomme cette manière d'électriser un corps, *développement de l'électricité.*

Si l'on approche de nouveau le conducteur jusqu'au point où il donne des marques sensibles d'électricité, et si on le touche alors avec le doigt, les fils de l'électromètre se rapprochent, et toute trace d'électricité disparaît. Mais alors, en éloignant peu-à-peu le conducteur, et le tenant toujours isolé, les fils divergent de nouveau, et toujours davantage à mesure qu'on s'éloigne. Ce phénomène, précisément contraire à ce qui arrive avant qu'on ait touché le corps conducteur, indique que ce corps a passé à l'état d'électricité opposée,

et c'est ce qui est parfaitement confirmé au moyen de l'épreuve par l'électromètre.

§ 3. On nomme tout l'espace au-dedans duquel cet effet a lieu, la *sphère d'activité électrique ;* et l'influence de cette sphère d'activité, est une des choses les plus importantes de la théorie de l'électricité, parce qu'aucune autre ne montre si clairement les lois particulières de la Statique électrique.

§ 4. Selon le système de *Symmer,* il arrive ce qui suit dans la sphère d'activité électrique (*).

Si le conducteur I est chargé d'électricité vitrée, le conducteur M qu'on en approche, apporte les deux électricités combinées : son électricité résineuse est attirée par l'électricité vitrée du conducteur I ; elle n'est pas pour cela enlevée, mais dissimulée (**) ; de sorte que son effet sur l'électricité vitrée du conducteur I, est affaibli : cette dernière électricité est donc libre à un certain point, et le devient d'autant plus que M est plus rapproché de I. Si l'on éloigne le conducteur M, l'effet répulsif que l'électricité du conducteur I produisait sur l'électricité vitrée de M, est affaibli ; par conséquent, les deux électricités de M se combinent plus fortement, et l'effet de son électricité vitrée naturelle, devient moins sensible ; enfin, lorsque le conducteur M est tout-à-fait hors de la sphère d'activité de I, il se trouve dans l'état d'équilibre où tous les phénomènes électriques disparaissent.

Mais si l'on touche le conducteur M, tandis qu'il est dans le voisinage de la machine, on lui enlève seulement son électricité vitrée qui alors n'est qu'imparfaitement combinée, et son électricité résineuse reste, parce qu'elle est retenue et dissimulée par l'électricité vitrée du conducteur I ; de sorte qu'elle ne peut s'échapper. Si, ensuite, on

---

(*) Pour qu'il ne reste aucune difficulté sur l'explication du texte, nous nommerons *conducteur* I, le conducteur immobile qui fait corps avec la machine, et *conducteur* M, le conducteur isolé et mobile. Il faut encore observer que lorsque l'extrémité antérieure E du conducteur M entre dans la sphère d'activité de I, le fluide naturel du premier se décompose, et qu'en vertu de l'attraction des électricités dissemblables, il s'accumule en E une électricité opposée à celle du conducteur I.

(**) C'est-à-dire, encore en quelque sorte à l'état de lien avec l'électricité opposée du conducteur M.

éloigne le conducteur M, ce qui reste à ce dernier de son électricité vitrée naturelle, ne suffit plus pour saturer son électricité résineuse; par conséquent celle-ci redevient de plus en plus libre, et produit ainsi son effet accoutumé.

Il n'est besoin que de changer les expressions d'électricité vitrée et résineuse, pour expliquer le cas où le conducteur de la machine est chargé de cette dernière.

On voit comment ces phénomènes se déduisent naturellement de l'hypothèse de *Symmer*.

§ 5. Pour expliquer la formation de la sphère d'activité d'après la même hypothèse, il faut seulement admettre que les deux électricités agissent déjà l'une sur l'autre à distance, mais que cette action n'a d'autre influence que de diminuer leur activité réciproque, et ne peut enlever ni l'une ni l'autre des corps où elles sont fixées.

Si l'une des deux, l'électricité vitrée, par exemple, est accumulée en un corps quelconque, elle attire l'électricité résineuse contenue dans la combinaison des deux électricités de l'air environnant; en même-temps, elle repousse l'électricité vitrée; ainsi, par cette double influence, elle diminue l'action mutuelle qui rendait jusque-là sans effet l'électricité vitrée combinée avec la résineuse. Par là l'électricité vitrée de la couche d'air la plus voisine, devient presque entièrement libre, et produit un effet semblable, mais plus faible, sur la combinaison des deux électricités des couches d'air environnantes; et cette influence se propage ainsi de couche en couche, à une distance plus ou moins grande, selon que la force de l'électricité vitrée, qui a commencé tout l'effet, était plus ou moins considérable. D'après cette explication, dans toute la sphère d'activité, ni l'une ni l'autre des électricités, ne se trouve nulle part à l'état naturel; mais l'une des deux est à l'état de lien; et ce lien est d'autant plus fort qu'il est plus près du corps électrisé réellement.

Quand un conducteur isolé est placé dans la sphère d'activité, l'électricité résineuse dans son état naturel, se trouve combinée à un certain degré avec l'électricité vitrée de la sphère d'activité, et par conséquent son électricité vitrée devient sensible à un certain point.

Quand, au contraire, un conducteur non-isolé est placé dans cette

même sphère d'activité, quoique la même chose ait lieu, l'effet est différent, parce que l'électricité vitrée s'échappe par le conducteur qui lui est offert, et il ne lui reste que l'électricité résineuse ; mais à un état combiné.

C'est dans ce sens qu'il faut entendre ce qu'on dit, que la sphère d'activité tend toujours à exciter dans le corps qui y est placé, une électricité opposée à la sienne.

§ 6. Qu'on garnisse les deux côtés d'une plateau de verre mince, avec des feuilles d'étain laminé, de sorte pourtant que quelques pouces des deux surfaces du verre, restent à découvert sur les bords, et qu'il n'y ait pas la moindre communication conductrice entre ces deux garnitures métalliques ; qu'on place le plateau de manière que ces deux garnitures demeurent isolées, et qu'on communique alors l'électricité du conducteur à la surface supérieure ; la surface inférieure manifestera la même électricité. Si l'on enlève à la surface supérieure son électricité au moyen d'une pointe dirigée vers elle, l'électricité de la surface inférieure disparaît aussi ; cependant, l'électricité s'échappe dans ces circonstances avec plus de difficulté que dans toute autre disposition. Si, au contraire, on enlève l'électricité de la surface inférieure par le contact, avant de détourner l'électricité de la surface supérieure, et qu'ensuite on approche une pointe de cette dernière, la surface inférieure indique une électricité croissante, mais opposée.

§ 7. On ne peut méconnaître, dans les circonstances essentielles de cette expérience, une parfaite ressemblance avec l'expérience décrite pag. 233, § 2, dès qu'on admet que la sphère électrique de la surface supérieure s'étend à travers le verre jusqu'à la surface inférieure. Cette opinion semble parfaitement confirmée par l'observation rapportée ci-dessus (p. 225, § 9). Si la surface supérieure est chargée d'électricité vitrée, elle neutralise l'électricité résineuse naturelle de la surface inférieure, et alors l'électricité vitrée de celle-ci devient libre. Si l'on enlève l'électricité vitrée de la surface supérieure, l'électricité résineuse de la surface inférieure, est de nouveau combinée avec l'électricité vitrée de la même surface, et celle-ci ne paraît pas électrique. Mais si l'on touche d'abord la surface inférieure, on en détourne l'électricité vitrée devenue libre ; il ne lui reste plus que son électricité résineuse, mais dissimulée, et rendue sans effet par l'élec-

tricité vitrée de la surface supérieure, tant que cette électricité vitrée y reste fixée; enfin, dès qu'on enlève cette dernière, l'électricité résineuse de la surface inférieure doit devenir libre.

§ 8. D'après la comparaison de deux expériences, les conditions essentielles pour la formation d'une sphère d'activité, se déterminent plus exactement encore dans l'énoncé suivant.

Un corps conducteur doit être près d'un autre corps qui se trouve à l'état électrique, et en être séparé par un milieu non-conducteur. Nous verrons, dans la suite, que le corps électrisé peut être aussi bien un non-conducteur qu'un conducteur. Dans l'air, la distance entre ces deux corps peut être assez grande, parce que la sphère d'activité s'y étend très-loin. Au contraire, si le milieu non-conducteur est dense et compacte, comme le verre, par exemple, la sphère d'activité ne s'y étend qu'à de petites distances : par cette raison, le verre employé à cette expérience, ne doit pas être trop épais. Dans ces circonstances, le conducteur qu'on approche, montre toujours les phénomènes de la sphère d'activité, pourvu cependant que l'électricité ne soit pas tellement accumulée, que la distance explosive puisse atteindre le conducteur. Ce dernier cas, comme nous le verrons par la suite, peut arriver spontanément par l'effet d'une trop forte charge, même lorsque le milieu qui sépare, est de verre (*).

(*) Parmi les différens résultats que l'on obtient à l'aide d'une explosion électrique, il en est qui ont fourni aux partisans de la doctrine de *Francklin*, une objection spécieuse contre l'hypothèse des deux fluides. Le physicien *Tremery* a imaginé, pour résoudre ces difficultés, une hypothèse confirmée par des expériences ingénieuses. Suivant lui, la force coercitive des corps idio-électriques, ou électriques par eux-mêmes, c'est-à-dire, la résistance que ces corps opposent au mouvement du fluide dans leur intérieur, et qu'on remarque sur-tout dans les corps qui s'électrisent par la chaleur, ne serait pas la même pour les fluides vitré et résineux; ensorte qu'il pourrait bien arriver que, dans certains corps, elle fut incomparablement plus grande, relativement à l'un de ces fluides que par rapport à l'autre. L'air atmosphérique serait dans ce cas, et opposerait une très-grande résistance au mouvement du fluide résineux, tandis qu'il ne résisterait pas, à beaucoup près, avec la même force, au mouvement du fluide vitré. On peut faire une autre supposition d'après laquelle la force coercitive pour le fluide vitré, l'emporterait sur celle qui aurait lieu à l'égard du fluide résineux, et si la première devenait incomparablement plus grande que l'autre, on aurait le

Électricité accumulée.

§ 9. Quand on fait communiquer la surface inférieure du plateau avec le sol (*), et qu'on électrise alors la surface supérieure, celle-ci reçoit une beaucoup plus grande quantité d'électricité que lorsque les deux surfaces sont isolées. Si le plateau de verre est électrisé de cette manière, on dit qu'il est *chargé*, et l'on nomme avec raison l'électricité obtenue par ce moyen, *électricité accumulée*, puisque ses effets se distinguent singulièrement de ceux de l'électricité ordinaire, considérée jusqu'ici. Si l'on touche seulement la surface inférieure du plateau, on n'en éprouve rien, puisque son électricité libre a pu s'écouler dans le sol. Si l'on touche seulement la surface supérieure, on reçoit son électricité, non comme celle du conducteur, par une seule étincelle, mais par plusieurs étincelles plus petites, très-piquantes et se succédant rapidement les unes aux autres. Enfin, si l'on touche les deux surfaces en même temps (il est mieux de toucher d'abord celle de dessous), on reçoit toute l'électricité du plateau par une seule et forte étincelle qui ne fait pas seulement éprouver une sensation piquante à l'endroit où on la reçoit, mais qui produit dans les deux bras, surtout aux jointures des coudes, une violente secousse qu'on nomme *coup électrique*, et qui ne se fait jamais sentir par l'électricité ordinaire. Cette décharge du plateau de verre peut s'effectuer, non-seulement au moyen des mains, mais aussi par toute autre communication conductrice entre les deux garnitures métalliques. Si l'on continue toujours à charger le plateau, l'électricité s'accumule toujours davantage, jusqu'à ce qu'enfin il se fasse une décharge *spontanée*, au moyen d'une étincelle qui, de la surface supérieure, va frapper la surface inférieure en traversant le verre, ce qui brise ordinairement le plateau.

C'est encore une circonstance digne de remarque, que cette électricité accumulée n'agit pas à beaucoup près aussi fortement sur l'électromètre que l'électricité libre; c'est ce dont on peut se convaincre, en faisant communiquer un électromètre à cadran avec la surface supé-

---

phénomène inverse. Ceci nous paraît revenir à l'hypothèse sur les accès de facile transmission de la lumière.

(*) Il s'agit ici du plateau décrit § 6.

rieure du plateau, tandis qu'il est chargé, ou ce qui revient au même, en l'assujétissant au conducteur (1).

§ 10. Il est, dans le fait, étonnant de voir comme tous ces phénomènes s'expliquent avec facilité par l'hypothèse de *Symmer*.

Si le conducteur fournit de l'électricité vitrée, cette électricité s'accumule sur la surface supérieure du plateau, jusqu'à ce que sa sphère d'activité atteigne la surface inférieure au travers du verre. Aussitôt que cela arrive, l'électricité vitrée de la surface supérieure neutralise l'électricité résineuse de la surface inférieure; mais comme chaque combinaison est réciproque, elle est elle-même neutralisée à un certain degré, et par conséquent la surface supérieure du plateau est mise jusqu'à un certain point à l'état non-électrique, au moins tant qu'elle ne contiendra pas plus d'électricité vitrée qu'elle n'en aurait pu recevoir sans cette combinaison : mais l'électricité vitrée devenue libre sur la surface inférieure, s'écoule et fait place à la nouvelle électricité combinée qui arrive du sol : celle-ci est décomposée par l'électricité vitrée qui s'accumule sur la surface supérieure, comme celle qui existait d'abord; et l'on conçoit facilement que la même opération se continue sans interruption, tant que la surface supérieure reçoit un excès d'électricité vitrée. Mais tandis que l'électricité s'accumule ainsi sur la surface supérieure, la distance explosive de cette surface pénètre plus avant dans le verre; et si elle atteint la surface inférieure, il doit y avoir une décharge spontanée.

Si l'on décharge le plateau avant ce moment, toute l'électricité accumulée sur la surface supérieure, se combine tout d'un coup avec toute l'électricité résineuse accumulée sur la surface inférieure, par le plus court chemin qui lui est offert, et produit le coup électrique au moment du passage instantané à travers le corps.

La diminution de l'effet électrique sur l'électromètre, vient de ce que les deux électricités ne peuvent avoir d'effet qu'à l'état libre, et qu'elles se trouvent dans le plateau de verre à l'état d'une certaine combinaison qui n'est cependant pas une véritable union des deux matières, puisque celle-ci se fait ensuite par la décharge. Chacune

(1) Car, malgré la grande quantité d'électricité accumulée, l'électromètre n'indiquera qu'une faible tension, à cause de l'action attractive de l'électricité opposée qui se trouve répandue sur l'autre face du plateau.

des électricités adhère à la surface où elle est amenée ; mais dans le voisinage où elles se trouvent, l'action de l'une réprime celle de l'autre.

§ 11. Si l'on recouvre la surface supérieure du verre avec une matière qui conduise mal l'électricité, par exemple, avec un vernis mêlé de poudre métallique, le plateau se charge de même; mais l'électricité ne se répand pas tranquillement sur sa surface supérieure; au contraire, du milieu où elle afflue, elle se lance vers tous les côtés en éclairs serpentans. Si l'on fait communiquer la garniture inférieure avec le bord de la garniture supérieure, au moyen d'une bande conductrice d'étain, la charge a lieu encore; mais si l'électricité est accumulée à un certain point, il se fait par la bande d'étain une décharge spontanée qui embellit le phénomène. Un semblable plateau s'appelle un *carreau magique*.

§ 12. Comme la forme du plateau de verre qu'on emploie pour cette expérience, est tout-à-fait arbitraire, on se sert ordinairement, pour produire l'électricité accumulée, de l'appareil nommé *bouteille de Leyden*. La disposition de cet appareil, qu'on regarde maintenant comme la plus convenable, est la suivante : un bocal de verre mince est recouvert en dedans et en dehors avec des feuilles d'étain laminé, de sorte qu'extérieurement et intérieurement il ne reste qu'un pouce et demi ou deux pouces du bord supérieur du verre, qui ne soient pas couverts. On enduit ordinairement ce bord avec une couche de cire à cacheter, dissoute dans l'alcool, parce que cette couche isole encore mieux que le verre seul. C'est la garniture intérieure de la bouteille, qui est chargée immédiatement par le conducteur, et pour pouvoir la charger plus commodément, on ajoute à la bouteille un petit appareil qui consiste en une tige ronde de métal, plus haute que la bouteille, de trois ou quatre pouces, pourvu d'un bouton à son extrémité supérieure, et attachée par le bas à une plaque ronde de plomb, qui s'ajuste exactement au fond de la bouteille. On place cet appareil dans la bouteille, et dans le haut on l'assujétit au moyen d'un couvercle de carton enduit de cire à cacheter, à-peu-près à l'endroit où finit la garniture intérieure.

Pour charger la bouteille, on la tient à la main, et l'on présente le bouton au conducteur ; ou bien on la place sur une table, et l'on

fait communiquer le bouton au conducteur par le moyen d'une chaîne (1).

§ 13. Comme il serait dangereux de décharger avec les mains de trop fortes charges, on emploie pour cela un petit instrument particulier, qu'on nomme un *excitateur.* Il consiste en une verge de métal courbée en arc, arrondie aux deux bouts, et terminée par deux boutons; ou bien encore une des extrémités est arrondie en anneau, et l'autre terminée par un bouton: on place un bout de cet instrument contre la garniture extérieure de la bouteille, et l'on touche avec l'autre la tige ou bouton qui surmonte : de cette manière, toute la décharge passe à travers la verge de cuivre, sans que la main en éprouve la plus légère impression. L'excitateur est encore plus commode, quand on fait tenir deux arcs métalliques mobiles à un manche isolant, de bois séché, recouvert de cire à cacheter, par exemple, de sorte qu'on puisse varier à volonté la distance de deux extrémités, dont l'une est ordinairement recourbée en anneau, et l'autre terminée par un bouton arrondi.

§ 14. La découverte de l'électricité accumulée fut faite en même temps, dans l'année 1745, par deux physiciens, par le chanoine *Kleist,* à Cammin, et par *Muschenbroëk,* à Leyden. C'est pour cela qu'on nomme la bouteille qui sert à cette experience, *bouteille de Leyden* ou de *Kleist,* et l'expérience elle-même, *expérience de Leyden.* Les Dictionnaires de Physique de *Gehler* et de *Fischer* donnent des détails circonstanciés sur cette découverte, à l'article *Flasche, geladene.*

§ 15. On peut faire, avec la bouteille de Leyden, une quantité d'expériences instructives et amusantes. Par rapport aux premières, nous remarquerons seulement ce qui suit :

---

(1) Il est dit dans les Dictionnaires de Physique (*Gehler,* II, 288; *Fischer,* II, 508), et vraisemblablement dans beaucoup d'autres ouvrages, que le verre épais est moins exposé au danger de se rompre, que le verre mince. Les bouteilles que fabrique M. *Elckner,* à Berlin, sont, ainsi que tous les instrumens de cet habile artiste, faites avec le plus grand soin ; elles ne se brisent jamais par une décharge artificielle, et supportent presque toutes les décharges spontanées ; elles doivent cet avantage à ce qu'il choisit du verre très-mince, d'une densité et d'une épaisseur aussi égales que possible. Si l'explication de la sphère d'activité, donnée ci-dessus est exacte, ce procédé s'accorde parfaitement avec la théorie.

La décharge a toujours lieu lorsqu'on établit une communication conductrice entre la garniture intérieure et la garniture extérieure de la bouteille, de quelque étendue que soit cette communication. On peut donc communiquer au même instant *le coup électrique* à un grand nombre de personnes, lorsqu'elles forment une chaîne en se tenant par les mains, et que la première tient la garniture extérieure, tandis que la dernière touche le bouton de la bouteille avec la jointure du doigt.

Si l'on donne à l'électricité le choix pour le passage entre un bon et un mauvais conducteur, elle passe par le premier, et ne touche point du tout au dernier. C'est pour cela qu'on peut tenir hardiment l'excitateur par les deux mains, sans éprouver aucun coup. Cependant, lorsque le chemin par un mauvais conducteur, est beaucoup plus court, quelquefois l'electricité le préfère au chemin par un bon conducteur.

La chaîne de communication peut même être interrompue à un ou à plusieurs endroits; et pourvu seulement que la distance ne soit pas trop grande, la décharge a lieu, cependant avec cette modification, qu'à chaque place où la chaîne est interrompue, le passage se fait par une étincelle qui donne le coup.

§ 16. Lorsqu'on veut augmenter l'effet de la bouteille de Leyden autant que possible, on fait une *batterie électrique*, c'est-à-dire, qu'on réunit plusieurs bouteilles semblables, et qu'on met en communication, d'une part, toutes leurs garnitures extérieures, et de l'autre toutes leurs garnitures intérieures. On établit très-simplement la communication entre les garnitures extérieures, en les plaçant toutes sur une même couche d'étain laminé; et celle des garnitures intérieures se fait aussi très-facilement, en joignant ensemble les tiges des bouteilles, ou mieux encore les boutons qui les terminent, au moyen d'une tige de métal. Le reste de la disposition extérieure est arbitraire, et doit être cherché dans des ouvrages plus étendus.

On charge cet appareil en tournant le plateau de la machine électrique, après qu'on a fait communiquer la garniture intérieure au conducteur, par le moyen d'un fil ou d'une chaîne de métal.

On ne peut pas déterminer généralement combien de fois on doit tourner le plateau pour obtenir une charge complète, puisque cela ne dépend pas seulement de la grandeur de la machine, mais encore de l'état et de la température de l'air.

Comme les effets d'une batterie chargée, ont une force qui exige de la prudence, il est fâcheux qu'on n'ait jusqu'à présent, aucun caractère auquel on puisse reconnaître avec certitude combien la charge est avancée. Il faut du moins apporter la plus grande attention à distinguer les signes imparfaits qui nous sont offerts. Sous ce rapport, on doit observer ce qui suit: 1.° A chaque expérience, on doit compter combien de fois on a tourné le plateau, afin de tirer une règle de ce qui est arrivé à la première expérience, pour se diriger dans les suivantes. 2.° On ne doit jamais manquer de placer l'électromètre à cadran sur le conducteur, et de l'observer : il s'élève à la vérité beaucoup plus lentement par la charge d'une batterie que par l'électricité du seul conducteur, ou par la charge d'une seule bouteille; mais on peut déduire de son état, durant la première expérience, une règle pour les suivantes, et l'on peut même, dans la première expérience, observer en quelque sorte la progression de la charge. 3.° Avant de commencer les expériences, on place sur les communications métalliques qui joignent ces garnitures intérieures, une verge de métal, terminée aux deux bouts par une petite boule d'environ $\frac{1}{4}$ de pouce de diamètre, et qui se prolonge quelques pouces au-delà de la batterie : on approche de temps en temps d'une de ces boules le bouton d'un excitateur isolé : à une certaine distance, une étincelle pétillante vient frapper l'excitateur, et l'on peut conclure, à-peu-près, la force de la charge, par l'éloignement où cette étincelle a lieu. Pour une batterie de 20 à 30 bouteilles de quart de Berlin, une distance d'un demi-pouce indique déjà une forte charge. 4.° Lorsqu'on est attentif à ce qui arrive dans toute la batterie, et qu'on entend un pétillement entre les bouteilles, on ne doit pas tarder à décharger la batterie, puisque ce bruit indique ou qu'il y a une bouteille endommagée, ou qu'il va se faire incessamment une décharge spontanée.

Il faut éviter la décharge spontanée, parce qu'elle fait casser souvent des bouteilles. La décharge artificielle se fait de même que dans une bouteille seule, en établissant une communication entre la garniture intérieure et la garniture extérieure.

§ 17. L'effet d'une batterie augmente avec le nombre des bouteilles qu'on y emploie, ou plutôt avec l'étendue des surfaces qui sont revêtues de métal.

Il faut aussi avoir égard à la force de la machine électrique dont

on fait usage : plus elle est faible, plus il faut de temps pour charger une même batterie, et plus aussi il se perd d'électricité par le contact de l'air; ce qui empêche la charge de s'effectuer.

§ 18. L'excitateur à tiges, de *Henley*, est une dépendance presque indispensable d'une batterie électrique : voici en quoi il consiste. Sur une petite planche longue d'environ 12 pouces, et large de 6 à 8, sont placés assez près des deux extrémités les plus étroites, deux montans isolés de 8 à 10 pouces de hauteur ; chacun d'eux supporte une verge de métal posée transversalement, qui est recourbée en anneau du côté extérieur, et terminée du côté intérieur par une boule ou par une pointe, lorsqu'on dévisse la boule. Ces verges de métal sont attachées aux montans par le moyen d'une monture de cuivre, de sorte que chacune d'elles peut faire trois sortes de mouvemens. Elle peut se mouvoir en avant et en arrière dans la monture; elle peut être tournée horizontalement et verticalement. Entre les deux montans est une espèce de petite table de bois très-sec, qu'on peut placer plus haut ou plus bas à volonté, et qu'on peut même ôter tout-à-fait : sur la petit table est encore un plateau de la même grandeur qu'elle, et qu'on peut y adapter avec des vis à la manière d'une presse.

Pour se servir de cet instrument, on attache l'un des bouts d'une chaîne de métal à l'anneau d'une des verges de métal, et l'autre bout à la garniture extérieure de la batterie : on met le corps qu'on veut exposer à l'effet du coup, sur la petite table, ou on le presse entre les deux plateaux; puis on donne aux boutons des deux verges de métal, la situation et la distance convenables par rapport au corps; ensuite on attache l'anneau d'un excitateur ordinaire (p. 241, § 13), à l'anneau de la seconde verge métallique, et l'on touche avec le bouton de l'excitateur ordinaire la garniture intérieure de la batterie; l'étincelle électrique est alors, comme on le voit aisément, forcée de passer par le corps qui est placé entre les deux boutons de l'excitateur.

§ 19. Parmi les innombrables expériences qui se font avec une batterie électrique, nous rapporterons seulement les suivantes :

Les oiseaux et les autres petits animaux sont tués instantanément par la décharge d'une batterie. Pour faire l'expérience sur de plus grands animaux, il faut user de beaucoup de prudence. Les chenilles paraissent faire une exception, et peuvent soutenir non-seulement

la décharge d'une batterie, mais même, selon l'observation d'un de mes amis, la décharge de la poudre.

L'étincelle d'une batterie passe à travers un plateau de verre mince, avec un grand bruit, mais sans le rompre en éclats; il ne s'y fait qu'un trou presque imperceptible.

Elle perce plusieurs doubles de feuilles de carton, un jeu de cartes, des lames d'étain ou de plomb. Il est à remarquer que les ouvertures qu'elle y laisse, ont les bords relevés des deux côtés.

L'étincelle électrique rougit, fond et oxide, ou brûle des fils déliés de métal. Il est très-facile de faire cette expérience, même avec de petites batteries, en se servant d'un bout très-court d'un fil très-mince, par exemple de la plus petite des cordes d'acier que l'on emploie dans les pianos.

Une feuille d'or ou d'argent, pressée entre deux plaques de verre, est incrustée dans le verre par l'étincelle électrique. Une feuille qui contient de l'alliage, perd, par cette opération, une partie de sa couleur en plusieurs endroits; ce qui est l'effet d'un commencement d'oxidation.

Si l'on approche de la surface de l'eau les deux boutons de l'excitateur de *Henley*, déjà à 5 à 6 pouces de distance l'un de l'autre, la décharge se fait avec un bruit très-fort. Si l'on tient un doigt dans l'eau pendant la décharge, on éprouve quelque commotion. Il est hors de doute que la vapeur d'eau conductrice qui se trouve au-dessus de l'eau, favorise la décharge.

Si l'on met les boutons de l'excitateur dans l'eau, à une petite distance l'un de l'autre, l'étincelle paraît dans l'eau entre les boutons, ce qui donne à l'eau un mouvement remarquable.

CHAPITRE XXXV.

De l'Électrophore et du Condensateur.

§ 1. Alexandre Volta, de Pavie, celui des physiciens vivans qui s'est le plus occupé de l'électricité, a enrichi les appareils électriques de plusieurs instrumens très-remarquables, parmi lesquels se trouvent

l'électrophore et le condensateur (*). Ce qui caractérise les découvertes de ce savant, c'est qu'aucune n'est dûe au hasard, et que toutes sont des fruits de l'étude et de l'application de la théorie.

De l'Electrophore.

§ 2. Qu'on se représente un plateau circulaire de fer-blanc, entouré d'un rebord en saillie, mais peu élevé ; sa grandeur est très-variable : il y a de petits électrophores de quelque pouces de diamètre et de grands dont le diamètre est de 2 jusqu'à 5 pieds ; le bord doit toujours être relativement très-bas, d'un huitième de pouce, à-peu-près, pour les petits électrophores, et d'un pouce environ pour les plus grands. Ce plateau se nomme la *forme de l'électrophore.*

Il est rempli avec de la résine, de la poix, de la cire à cacheter, du soufre, ou une composition résineuse quelconque. On doit avoir soin que la masse qui le remplit, n'ait aucune fente, et que la surface soit bien unie. Cette masse s'appelle le *gâteau de l'électrophore.*

La troisième et dernière partie essentielle de l'instrument, s'appelle le *couvercle* : il consiste en un plateau circulaire dont le diamètre est plus petit que le diamètre de la forme, d'un huitième ou d'un dixième : il doit être d'une matière conductrice, et n'avoir aucun angle ni aucune proéminence. S'il est de fer-blanc, le bord doit être arrondi ; mais il est difficile alors de le conserver parfaitement uni ; et, par cette raison, il vaut mieux le faire de plusieurs cartons collés l'un sur l'autre, et recouverts avec du tain : on le suspend à trois cordons de soie, comme un plateau de balance ; ou bien on y adapte au milieu un manche de verre : enfin il doit pouvoir être enlevé isolément.

§ 3. On excite l'électricité de cet instrument, en frottant le gâteau avec une queue de renard, ou une peau de chat parfaitement sèche, qui lui donne l'électricité résineuse.

Les propriétés qui distinguent l'électrophore, se manifestent dans les phénomènes suivans :

1.° Si l'on place le couvercle sur le gâteau électrisé, l'électricité

(*) Quelques physiciens attribuent l'électrophore à *Wilck*, savant suédois, et le condensateur, à *Æpinus*.

s'y conserve plusieurs jours, même plusieurs semaines. De là vient le nom d'*électrophore*, c'est-à-dire, *porteur d'électricité.*

2.° Si l'on pose un électromètre sur le couvercle avant de le placer sur le gâteau, et qu'on l'approche peu-à-peu de celui-ci, les fils de l'électromètre s'éloignent à mesure qu'on avance vers le gâteau; le couvercle est donc électrisé alors, et son électricité est la même que celle du gâteau. Mais si l'on enlève le couvercle sans l'avoir touché, les fils se rapprochent d'autant plus qu'on élève le couvercle davantage; enfin, lorsqu'il se trouve hors de la sphère d'activité du gâteau, toute trace d'électricité disparaît (1).

3.° Si l'on replace le couvercle sur le gâteau, et qu'on le touche avant de l'enlever, ou, ce qui est encore mieux, qu'on touche en même temps, avec la même main, la forme et le couvercle, le doigt qui touche le couvercle reçoit une petite étincelle, et les fils de l'électromètre se réunissent; de sorte que le couvercle ne paraît plus avoir aucune électricité : mais si on l'enlève alors par le manche isolant, les fils de l'électromètre s'écartent d'autant plus qu'on éloigne le couvercle davantage, jusqu'à ce qu'enfin, lorsqu'il est hors de la sphère d'activité du gâteau, ils conservent entre eux un certain éloignement : le couvercle est donc électrisé, mais de l'électricité contraire à celle du gâteau. Si l'on abaisse de nouveau le couvercle, les fils se rapprochent, et toute l'électricité semble avoir disparu quand il est posé sur le gâteau; mais si l'on touche le couvercle avant de l'abaisser, on reçoit une étincelle assez forte, qui lui enlève toute son électricité.

4.° On peut répéter cette expérience autant de fois qu'on veut,

---

(1) Lorsqu'on fait cette expérience, il ne faut pas laisser trop long-temps le plateau en contact avec le gâteau de l'électrophore, ou même dans sa sphère d'activité; car comme l'électricité naturelle du plateau se trouve décomposée, et que la partie vitrée est seule retenue par l'attraction de la résine, tandis que la résineuse est repoussée, celle-ci a une tendance à s'échapper, c'est là ce qui fait diverger les fils de l'électromètre. Or, comme l'air qui environne le plateau ne produit jamais un isolement parfait, une partie de cette électricité s'échappe par ce moyen; et quoique cet effet soit assez faible dans un instant très-court, comme il est continuel, il augmente avec le temps, de manière que le plateau finit par se trouver déchargé de son électricité résineuse, précisément comme si on l'avait touché; et l'on peut s'assurer de ses pertes successives par le rapprochement graduel des fils de l'électromètre.

et tirer alternativement du couvercle des étincelles, tandis qu'il est élevé et tandis qu'il est sur le gâteau, sans que ce dernier perde rien de son électricité.

§ 4. D'après ce qui a été dit dans le chapitre précédent, sur la sphère d'activité électrique, ces phénomènes offrent peu de chose qui ait besoin d'une explication particulière. Le seul phénomène nouveau qu'on remarque ici, c'est qu'il ne se produit pas une vraie *communication*, mais une simple *séparation* de l'électricité, lorsqu'on pose le couvercle sur le gâteau. Nous avons déjà vu cependant (pag. 219, § 12) que la forme des corps a une grande influence sur la communication de l'électricité, et que la communication est d'autant plus difficile, que le corps offre moins de pointes et d'angles saillans. L'électrophore nous apprend donc une nouvelle loi de la communication, c'est-à-dire, qu'*entre deux surfaces planes dont l'une est conductrice et l'autre non-conductrice de l'électricité, il ne peut y avoir aucune communication.*

Le reste est clair pour ceux qui comprennent les lois de la sphère d'activité (*).

§ 5. L'électrophore peut remplacer la machine électrique dans un grand nombre de cas; car, lorsqu'il est une fois électrisé, il est, pour ainsi dire, une source inépuisable d'électricité; même, avec son secours, on peut charger des bouteilles de Leyden, et leur donner, à volonté, l'une des deux électricités. Pour cela, on place deux bouteilles près de l'électrophore, et l'on fait communiquer la garniture extérieure de l'une avec le couvercle métallique : cette bouteille tire des étincelles du couvercle lorsqu'il est sur le gâteau; et l'autre bouteille

---

(*) Lorsqu'on pose le disque ou le couvercle sur le tableau de résine, son électricité vitrée est attirée vers le plateau de résine, et le fluide résineux est repoussé vers la surface supérieure du disque. Si l'on retire alors le disque sans l'avoir touché, ses deux fluides se recombinent, et il ne reste sur le disque aucune trace d'électricité. Mais si, pendant que le disque est posé sur le plateau de résine, on met sa surface supérieure en communication avec le réservoir commun, en la touchant avec la main, elle fournira une étincelle et elle laissera échapper du fluide résineux : le disque ne donnera plus alors aucun signe d'électricité, parce que son fluide vitré est dissimulé : mais si on écarte alors le disque métallique du plateau de résine, son électricité vitrée deviendra libre.

en tire de ce même couvercle, quand il est enlevé : la première est donc par là chargée d'électricité résineuse, et la seconde d'électricité vitrée. On n'obtient cependant de fortes charges que lentement, du moins, si l'électrophore n'est pas très-grand.

§ 6. Nous devons encore rapporter un moyen facile d'accumuler l'électricité sur le gâteau. On charge une bouteille d'électricité, au moyen de l'électrophore ou de la machine, et on la pose sur le gâteau; cela fait, on la prend par le bouton, et l'on promène ainsi le fond de la bouteille sur l'électrophore : de cette manière, toute l'électricité vitrée de la bouteille passe peu-à-peu dans la main, et le gâteau prend aussi peu-à-peu toute l'électricité résineuse qu'elle retenait combinée, et son électricité en est augmentée.

§ 7. Parmi les expériences qui ne se font qu'avec l'électrophore, se trouve celle qu'on désigne sous le nom de *figures de Lichtenberg*. On charge deux bouteilles, l'une d'électricité vitrée, l'autre d'électricité résineuse ; on tient chacune d'elles par la garniture extérieure, et l'on dessine quelques traits sur le gâteau avec le bouton, après qu'on a enlevé toute autre électricité au gâteau, en le frottant et l'essuyant avec une toile de lin ; on le saupoudre ensuite de poudre fine, par exemple, de soufre, de poudre de résine, de minium, etc., etc.; et les traits qu'on y a faits avec l'une ou l'autre des électricités, se distinguent très-sensiblement par le moyen de ces poudres qui vont se ranger sur leurs contours.

§ 8. On peut voir dans les Dictionnaires de Physique de *Gehler* et de *Fischer*, et dans d'autres ouvrages plus étendus, les autres expériences qui se font avec l'électrophore : on en a fait dernièrement une ingénieuse application pour le *Briquet électrique*, instrument dont le premier et imparfait appareil est décrit dans les Dictionnaires de Physique cités, à l'article *Lampe electrische*. Je ne connais aucune description imprimée de sa nouvelle construction; ce qu'elle a d'essentiel, consiste en ce qu'une boîte est adaptée à l'électrophore, au-dessous de la machine, et qu'il n'est besoin que de tourner un seul robinet pour produire l'inflammation. Ces briquets sont très-répandus à Berlin, et les meilleurs sont fabriqués par M. *Elckner*.

Du Condensateur.

§ 9. On a commencé, dans ces derniers temps, à faire des recher-

ches très-instructives sur les faibles degrés d'électricité, qui se manifestent dans un grand nombre de circonstances. Le physicien qui veut approfondir la science, doit donc connaître les instrumens qui peuvent servir pour ces recherches. On y emploie principalement, outre les électromètres très-sensibles, le condensateur de *Volta*, avec lequel les effets de l'électricité la plus faible, peuvent être observés.

§ 10. La construction du condensateur peut être variée de différentes manières; mais elle est toujours extrêmement simple. Les parties essentielles sont le *couvercle* et la *base*. Le couvercle est disposé comme celui d'un électrophore (pag. 246 § 2); seulement il est ordinairement beaucoup plus petit ; il a environ 2 ou 5 pouces de diamètre ; il est convenable de le faire en métal, et de polir la surface inférieure. La *base* est un plateau d'un diamètre un peu plus grand : la matière qui le compose doit ne pas conduire l'électricité, ou, si l'on emploie une matière qui la conduise, elle doit être recouverte de quelque substance qui ne se laisse point pénétrer par l'électricité : ordinairement c'est un disque poli, couvert d'un taffetas ou d'une couche mince de vernis. On peut employer aussi, pour le même usage, une plaque de marbre très-sec et chauffé, un plateau de bois séché et couvert d'une légère couche de vernis, etc., etc. : mais puisque l'air est mauvais conducteur de l'électricité, on n'a besoin que de placer trois petites plaques de verre sur une table, pour servir de supports, et de mettre le couvercle dessus ; la couche d'air qui est au-dessous, tient lieu de la base.

§ 11. Dans l'électrophore, le gâteau est électrisé ; dans le condensateur, on communique immédiatement au couvercle, tandis qu'il est sur sa base, la faible électricité qui doit être examinée : tant qu'il est posé sur la base, il ne montre presque aucune électricité; mais si on l'élève, il agit sensiblement sur l'électromètre, et donne même des étincelles. On peut en faire l'expérience avec le petit reste d'électricité que conserve une bouteille après la décharge complète.

§ 12. La théorie du condensateur n'a aucune difficulté, d'après ce qui a été dit ci-dessus. Il n'y a aucune communication entre le couvercle et la base (pag. 248, § 4); par conséquent, l'électricité communiquée au couvercle forme une sphère d'activité : si l'on donne l'électricité vitrée au couvercle, elle neutralise jusqu'à un certain degré l'électricité résineuse contenue dans l'électricité naturelle de la

base, et, par une conséquence nécessaire, elle se trouve neutralisée elle-même à un degré égal. Ainsi, le couvercle reçoit par là, de même qu'une bouteille qu'on charge, la faculté d'accumuler plus d'électricité : il aspire donc toute l'électricité des corps qui lui sont présentés; mais cette électricité est dissimulée (*) entièrement ou en très-grande partie, tant que le disque supérieur est posé sur le plateau inférieur, et ce n'est qu'en l'enlevant, et lorsque la base est tout-à-fait hors de la sphère d'activité du disque supérieur, que l'électricité de celui-ci se manifeste de la manière ordinaire.

On conçoit très-facilement comment cet instrument, très-ingénieusement inventé pour la recherche des très-petits degrés d'électricité, peut avoir une application dans d'autres cas. (*Voyez* l'article *Condensator*, dans les Dictionnaires de Physique de *Gehler* et de *Fischer*.)

ADDITION.

« Il résulte d'expériences qu'on peut varier à volonté, que l'électricité se porte à la surface des corps conducteurs, et ne réside nullement dans leur intérieur ; l'expérience nous a encore appris qu'elle n'est retenue à cette surface que par la pression de l'air, et que c'est là le seul obstacle qui l'empêche d'abandonner le corps. Lorsque le corps conducteur est une sphère, la seule raison de symétrie veut que l'épaisseur de la couche électrique soit la même sur tous les points, ce qui est conforme aux expériences. Quand on accumule sur une sphère des quantités d'électricité, de plus en plus grandes, on peut supposer ou que les nouvelles couches se disposent sous les premières, ou bien que l'épaisseur restant la même, la densité du fluide augmente en chaque point. On a démontré par l'expérience que l'intensité d'électricité de chaque point d'une surface, croit ou décroit dans le même rapport que la quantité totale d'électricité répandue sur toute la surface.

On doit à *Coulomb* un grand nombre d'expériences faites au moyen de la balance électrique, sur le partage du fluide électrique entre des corps en contact

---

(*) Les quantités d'électricité qui peuvent exister ainsi, sans présenter des *tensions* proportionnelles, prennent la dénomination d'*électricités dissimulées*, et il y a un grand nombre de cas dans lesquels il est nécessaire de donner lieu à de semblables accumulations, pour rendre sensible la présence de certaines électrités dont la tension est très-faible ; c'est à cet usage qu'est destiné le condensateur. On donne le nom de *tension* à la force répulsive des molécules d'un même fluide, force proportionnelle à la densité de ce fluide, ou au nombre des molécules accumulées dans un espace donné.

et sur la loi de la distribution de ce fluide sur les différens points du corps : ce physicien a fait voir que le partage de ce fluide entre deux corps en contact, ne dépend que de la forme de ces corps et nullement de leur nature. Ainsi, ce fluide se distribue également entre deux sphères de même diamètre, de quelque nature qu'elles soient : si les surfaces sont inégales, et, par exemple, dans le rapport de 1 à 15, les quantités de fluide sont dans le rapport plus petit de 1 à 11 : si l'un des globes restant le même, le diamètre de l'autre diminue de plus en plus, le rapport des quantités de fluide, augmente suivant une progression toujours plus lente ; ensorte que les surfaces de deux globes étant, à-peu-près, dans le rapport de 2300 à 1, les quantités respectives de fluide, sont dans le rapport de 2 à 1, rapport qui peut être regardé comme la limite de la progression, en considérant le petit globe comme infiniment petit par rapport à l'autre. *Coulomb* a ensuite cherché la loi suivant laquelle le fluide électrique se distribuait sur les différens points des corps en contact. Lorsque deux globes électrisés de la même manière se touchent, les molécules fluides, en vertu de la loi de répulsion, doivent se refouler de part et d'autre du point de contact, ensorte que la tension électrique soit nulle dans ce point et dans les parties environnantes, jusqu'à une certaine distance : ce physicien a observé que plus les globes sont inégaux, plus la tension électrique varie sur le petit, depuis le contact jusqu'à 180°, et que sur le gros, elle approche davantage de l'uniformité. Ayant mis en contact un globe de $0^m,216$ de diamètre avec un globe de $0^m,054$, il a trouvé que la tension électrique était insensible sur le petit globe, depuis le point de contact jusqu'à 30°; qu'à 45° elle était le quart de celle qui avant lieu à 90°; que de 90° à 180°, elle croissait dans le rapport de 10 à 14. Dans le gros globe, la tension électrique était insensible jusqu'à 4° ou 5° seulement du contact; elle croissait ensuite seulement jusqu'à 30°, et de là elle était à-peu-près uniforme jusqu'à 180°. Ayant mis en contact une série de petits globes égaux, *Coulomb* a trouvé, comme on prévoit, qu'il y avait égalité entre les tensions électriques des globes extrêmes, et, en général, entre celles des globes équidistans de ceux-ci : dans chaque globe extrême, la tension est plus grande que dans le précédent ; le décroissement est rapide du premier globe au second, du second au troisième ; mais il devient ensuite plus lent jusqu'au milieu où la tension est zéro. Le même physicien mit une suite de globes égaux de $0^m,054$ de diamètre, en contact avec un globe de $0^m,216$, et il compara les tensions électriques des petits globes entre eux et avec le gros globe : il trouva dans une file de 24 petits globes, que la tension électrique du 24e était à celle du 23e dans le rapport de 1,49 à 1 ; celle du 24e au 12e, dans le rapport de 1,7 à 1 ; celle du 24e au 2e, dans le rapport de 2,10 à 1 ; celle du 24e au 1.er en contact avec le gros globe, dans le rapport de 3,72 à 1 ; enfin du 24e petit globe au gros, dans le rapport de 2,16 à 1. Il a ensuite cherché de quelle manière le fluide électrique se distribuait sur différens points de la surface d'une cylindre libre et en contact avec un gros globe électrisé : la tension, comme on le sait déjà, varie depuis

les extrémités jusqu'au milieu, à-peu-près dans le même rapport que sur une suite de globes égaux. A mesure qu'on emploie des cylindres d'un plus petit diamètre, la tension électrique des points extrêmes, s'accroit par rapport à celle des points intermédiaires : enfin en employant un cylindre très-délié placé sur le gros globe électrisé, la tension du fluide à l'extrémité libre du cylindre, devient considérable, et elle peut le devenir à tel point que l'air ne soit plus capable de résister à la répulsion des molécules acccumulées : c'est ainsi que *Coulomb* concevait le pouvoir des pointes pour lancer le fluide électrique dans l'atmosphère.

M. *Poisson* a soumis à l'analyse la distribution du fluide électrique à la surface des corps : il résulte des recherches de ce géomètre, que le fluide électrique doit se tenir à la surface des corps et n'y former qu'une couche extrêmement mince. La surface extérieure de la couche électrique, est la même que celle des corps : la surface intérieure est nécessairement peu différente de l'autre et déterminée par la condition d'équilibre entre les forces répulsives des molécules. Dans une sphère, l'épaisseur de la couche est égale partout : dans un ellipsoïde, elle est plus grande aux extrémités du plus grand des trois axes : si l'ellipsoïde est très-allongé, l'épaisseur de la couche électrique est très-considérable aux extrémités du grand axe. Le calcul prouve que la tension du fluide électrique, quelle que soit la forme du corps, est partout proportionnelle à l'épaisseur de la couche fluide, ou encore que la pression que le fluide exerce sur l'air, est proportionnelle au carré de la tension ou de l'épaisseur de la couche. M. *Poisson* s'est encore occupé de la distribution du fluide sur plusieurs corps électrisés soumis à leurs influence mutuelle : cette distribution est assujétie à un principe général qui a l'avantage de ramener toutes les questions de ce genre, à une condition mathématique (Mém. de l'Institut de France, année 1811.) »

CHAPITRE XXXVI.

De l'excitation de l'Électricité par d'autres moyens que le frottement, et en particulier du Galvanisme.

§ 1. Plusieurs physiciens du siècle dernier, entre autres *Nollet*, *Winkler* et *Franklin*, eurent en même-temps l'idée que le tonnerre est un phénomène électrique : mais le célèbre *Franklin* eut non-seulement le mérite incontestable d'avoir décidé la question par l'expérience; il s'acquit encore une renommée éternelle par l'invention des paratonnerres. Une exposition détaillée de la théorie de la foudre, appartient plutôt à la Géographie physique qu'à la Physique méca-

nique; mais nous avons toutefois rapporté ici ce phénomène, parce qu'il prouve d'une manière frappante, que la nature possède, pour l'excitation d'une très-forte électricité, des moyens que nous ne connaissons peut-être pas encore : car il n'y a pas la moindre vraisemblance que l'électricité du tonnerre, soit produite par le frottement de l'air contre l'air, ou de l'air contre la vapeur d'eau. La circonstance suivante demande quelque attention : durant un orage, l'atmosphère étant remplie de vapeur d'eau et de gouttes de pluie, elle a une communication très-conductrice avec le sol, par laquelle une quantité considérable d'électricité est insensiblement détournée du nuage orageux. Mais comme il se fait cependant de très-fortes décharges par les éclairs, et qu'elles se répètent souvent pendant plusieurs heures, on est forcé d'admettre que, dans le nuage orageux lui-même, il s'opère continuellement un phénomène quelconque par lequel une si grande quantité d'électricité devient libre, que la force conductrice de l'air ne la peut enlever, ni même l'affaiblir sensiblement. Quant à la manière dont se produit ce phénomène, nous l'ignorerons peut-être encore long-temps. (*Voyez* au reste, sur ce sujet, les articles *Blizt, Blitzableiter, Donner, Electricitœt, Gewitter, Spitzen, Wetterleuchten*, dans les Dictionnaires de *Gehler* et de *Fischer*.)

§ 2. Le frottement est sans doute le moyen le plus actif d'exciter l'électricité, et il est sûr qu'il s'en produit à chaque frottement de deux corps, sur-tout lorsque ces deux corps ne sont pas homogènes. Seulement il se peut que cette électricité n'occasionne pas d'effet sensible, soit à cause de son peu d'intensité, soit parce qu'elle est aussitôt détournée par les moyens de conductibilité qui lui sont offerts. Mais on sait aussi maintenant exciter l'électricité par d'autres moyens que le frottement, quoique ce ne soit qu'à de faibles degrés.

On doit d'abord ranger parmi ces moyens excitateurs la grande influence que le froid et la chaleur exercent sur les phénomènes électriques : ils changent la conductibilité des corps. Le verre chauffé jusqu'à la couleur rouge, devient conducteur, et la glace, par un très-grand froid, cesse d'avoir cette propriété. La terre siliceuse chauffée dans un creuset, montre une attraction électrique pour les parois de ce vase. Les phénomènes électriques que produit la tourmaline chauffée, sont sur-tout étonnans (*Voyez* les Dictionnaires de *Gehler* et de

Fischer, article *Turmalin*. — *Voyez* aussi la Physique et la Minéralogie de *Haüy*) (*).

Un vaste champ pour les recherches s'offre encore ici aux chimistes; car il y a apparence qu'à chaque combinaison chimique, il se fait aussi des changemens dans l'état électrique des corps. En effet, on reconnaît des traces d'électricité, lors du passage de l'eau liquide à l'état de vapeur, par l'ébullition; lorsque les charbons se consument; lorsque le soufre, la cire, la résine fondent; et, suivant la belle observation de *Lavoisier* et de *Laplace*, lorsque le fer est dissous dans l'acide sulfurique, etc., etc. Il est fort à desirer que les chimistes puissent suivre cet indice qui conduira peut-être à des éclaircissemens très-intéressans à beaucoup d'égards. On conçoit aisément l'utilité que doivent avoir, par rapport à ces recherches, des instrumens qui rendent sensibles les faibles degrés d'électricité (pag. 249, § 9) (**).

Du Galvanisme.

§ 3. La découverte la plus importante qui ait été faite de notre

---

(*) La pierre appelée *tourmaline*, est la première dans laquelle on a reconnu la propriété de devenir électrique par la chaleur : cette pierre se cristallise ordinairement en prismes à neuf pans, terminés par des sommets à trois, six, neuf faces ou davantage : lorsque cette pierre est à la température ordinaire, elle ne s'électrise que par frottement, et, dans ce cas, la partie frottée acquiert l'électricité vitrée; mais si on l'expose pendant quelques instans à l'action du feu, en la tenant par son milieu avec une pince, on observera qu'elle prend deux *pôles*, l'un vitré et l'autre résineux : ces pôles ou centres d'action sont voisins des extrémités; et, à partir de ces points, les densités électriques décroissent rapidement, en sorte qu'elles sont nulles ou presque nulles dans un espace sensible situé vers le milieu du prisme, distribution analogue à celle du fluide sur le conducteur. Si l'on casse une tourmaline au moment où elle manifeste son électricité, chaque fragment, quelque petit qu'il soit, a ses deux moitiés dans deux états opposés, comme la tourmaline entière.

(**) La physique doit à M. *Libes* une des premières expériences qui aient rendu manifeste, le développement de l'électricité par la pression. Les premières expériences sur le développement de l'électricité dans les phénomènes chimiques, sont généralement attribuées à MM. *Lavoisier* et *Laplace*. M. *Avogrado*, en Italie; *H. Davy*, en Angleterre; *Becquerel*, à l'aide du multiplicateur de *Schweigger*, instrument capable de rendre sensibles les plus petits développemens d'électricité, et *Œrsted* ont constaté ce développement.

temps sur ce sujet, est celle de l'effet qui se manifeste par le simple contact de deux métaux dont l'un prend ainsi une électricité résineuse, et l'autre une électricité vitrée : cette découverte est devenue une source de recherches nouvelles et très-remarquables. On a trouvé les moyens d'augmenter considérablement cette électricité, et elle produit ainsi plusieurs effets qui lui sont absolument particuliers; de sorte que, maintenant encore, quelques physiciens doutent de sa parfaite identité avec l'électricité (1). On a donné à tout ce qui se rapporte à cette nouvelle découverte, le nom de *Galvanisme*, parce que *Galvini*, physicien de Bologne, a le premier observé le phénomène qui a conduit à s'occuper de ces recherches. Cependant, nous devons encore ce qui a été fait de plus important sur ceci, à la pénétration de *Volta*.

§ 4. Dans l'année 1791, *Galvani* s'aperçut, par hasard, que la cuisse d'une grenouille, séparée du corps et dépouillée, éprouvait des contractions au moment où l'on faisait communiquer deux métaux, dont l'un était en contact avec un nerf de cette cuisse, et l'autre avec un muscle: il reconnut ensuite ce que phénomène s'opérait également sur toutes les parties de l'animal tué; mais que l'irritabilité du muscle, nécessaire pour le produire, ne durait que peu de momens après la mort. Ces expériences furent bientôt répétées par tous les physiciens de l'Europe, avec toutes les modifications qu'on peut imaginer. Nous allons donner ici les observations et les découvertes les plus intéressantes qui ont été faites sur ce sujet, soit par *Galvani*, soit par d'autres physiciens.

1.° Le phénomène se produit avec tous les métaux, et même avec quelques autres corps, comme le charbon, la plombagine, etc; mais on emploie avec plus d'avantage le zinc mis en communication avec l'or, l'argent ou le cuivre.

2.° Au lieu de deux métaux, on pourrait faire également une sorte de chaîne galvanique, au moyen de plusieurs corps, dont l'une des extrémités serait terminée par un nerf, et l'autre par un muscle :

---

(1) Ceci pouvait être vrai lors de la publication de cet ouvrage en Allemagne; mais depuis l'ingénieuse théorie que *Volta* a donnée des phénomènes galvaniques, il est impossible de ne pas y reconnaître l'action de l'électricité, et il n'y a plus à cet égard qu'une opinion parmi les physiciens et les chimistes les plus éclairés.

l'effet s'opérerait aussitôt qu'on fermerait la chaîne dans le milieu. Cependant, il paraît que tous les corps ne sont pas indifféremment propres à cet emploi, et que les conducteurs et les non-conducteurs de l'électricité, conservent encore ici ces mêmes propriétés.

3.° On a reconnu qu'il n'est pas nécessaire que l'un des bouts de la chaîne, se termine par un nerf, et l'autre par un muscle; tous deux peuvent se terminer par un nerf ou par des fibres musculaires qui sont en communication avec un nerf.

4.° La présence de l'eau paraît être une condition essentielle de ce phénomène; car, lorsque les parties du corps animal, mises en contact, ne sont point humectées, l'effet produit est faible ou presque nul.

5.° L'expérience se fait sur tous les animaux, et même sur les parties séparées du corps humain; mais l'irritabilité dure plus long-temps, après la mort, dans les animaux à sang froid, que dans ceux à sang chaud.

6.° Le contact de deux métaux peut aussi produire des phénomènes remarquables sur le corps vivant. Si l'on place deux pièces de métaux différens sur une ou sur deux plaies faites à quelques endroits du corps, on ressent une vive douleur dans l'instant où l'on met les deux métaux en contact (1). Si l'on met une pièce de zinc sous l'extrémité de la langue, une pièce d'argent par dessus, et qu'on fasse toucher alors les deux métaux, on éprouve une saveur acide bien déterminée. Si l'on change l'ordre des métaux, la saveur est différente et comme brûlante, ou, ainsi que le disent quelques personnes, alcaline. Si l'on place un métal contre l'angle interne de l'œil, et l'autre entre la lèvre inférieure et la mâchoire, on voit, au moment du contact, une lueur devant les yeux, à-peu-près semblable à la réverbération d'un éclair éloigné. On prétend qu'on reconnaît aussi une très-subtile différence dans cette lueur, lorsque l'ordre des métaux est changé.

---

(1) Cette expérience a été faite par M. *de Humboldt* : c'est lui qui se faisant appliquer deux vésicatoires sur les épaules, y fit placer des pièces d'or qui par leur communication produisirent sur lui tous les effets que décrit ici l'auteur. M. *de Humboldt* observant ainsi ces phénomènes sur lui-même, y trouva le sujet de plusieurs remarques physiologiques importantes.

§ 5. Les physiciens étaient d'abord d'avis très-différens sur l'explication de ces phénomènes. Quelques-uns croyaient qu'on avait découvert une nouvelle force naturelle qui agissait seulement sur l'organisation animale, et qu'on devait nommer, par cette raison, *électricité animale :* la plupart considéraient ces phénomènes comme purement électriques; mais ils n'étaient pas d'accord sur la manière de les expliquer. *Galvani* présumait que, dans l'état de vie, il se trouvait de l'électricité vitrée à l'intérieur des nerfs, que les muscles ou l'enveloppe extérieure des nerfs contenaient de l'électricité résineuse, et qu'il se produisait, dans les expériences, quelque chose de semblable à la décharge d'une bouteille de Leyden. *Volta*, au contraire, avait observé que le simple contact de deux métaux, excitait dans tous deux un faible degré d'électricité, de sorte que dans l'un on pouvait reconnaître l'électricité vitrée, dans l'autre l'électricité résineuse; et il avança que cette propriété jointe à la grande susceptibilité connue des nerfs relativement à l'action des plus faibles électricités, renfermait la cause de ces phénomènes. Cette opinion paraît se confirmer par toutes les expériences faites depuis.

La Pile de Volta, ou Batterie galvanique.

§ 6. *Volta* fut conduit par la seule force de son raisonnement, et non par le hasard, à la découverte d'un moyen par lequel cette espèce d'électricité peut être augmentée d'une manière surprenante; c'est ce qu'on appelle la *Pile de Volta.* Pour la construire, on place des plaques d'argent et de zinc, ou de cuivre et de zinc, alternativement les unes au-dessus des autres, en séparant chaque couple par une rondelle d'étoffe mouillée d'eau ou d'une dissolution saline : la pile se continue toujours dans le même ordre où on l'a commencée. Ainsi, par exemple, argent, zinc, eau; argent, zinc, eau — argent, zinc, de manière que les deux extrémités de la pile finissent par un métal différent et, selon le métal qui les termine, chacune de ses extrémités prend le nom de *pôle zinc*, ou de *pôle argent.* Pour observer les effets de la pile d'une manière suffisante, il faut qu'elle soit composée au moins de 50 couples. Les plaques qui y sont convenables, doivent être, à-peu-près de la largeur d'un écu. Nous parlerons en particulier de l'effet des plaques plus larges.

La colonne est ordinairement disposée de manière à être tout-à-fait

isolée : on commence et l'on termine souvent la pile par des plaques doubles, entre lesquelles on interpose une plaque de laiton battu qui a d'un côté un petit crochet auquel on peut attacher des fils de métal pour les expériences.

§ 7. Les expériences les plus remarquables qu'on puisse faire avec une pile semblable, sont les suivantes :

1.° Si l'on attache des fils de métal aux extrémités de la pile, et qu'on prenne un de ces fils dans chaque main, on ressent une commotion qui se répète et se prolonge autant que le contact : cet effet est plus fort lorsque les mains sont mouillées; il l'est encore beaucoup plus quand on tient dans chacune d'elles une pièce de métal mouillée qu'on met en contact avec les fils de métal qui sont attachés à la pile; quand on fait plonger les deux fils dans un vase où il y a de l'eau, et qu'on touche ensuite l'eau avec les deux mains, etc., etc.

On peut faire passer cette commotion par telle partie du corps qu'on veut, et par une chaîne de plusieurs personnes.

2.° Les phénomènes lumineux rapportés à l'article 4, s'opèrent très-facilement et de diverses manières; par exemple, il suffit pour cela de prendre un des fils avec la main mouillée, et de faire toucher l'autre à l'œil aussi mouillé, ou même à la langue ; dans ce dernier cas, on éprouve de plus une saveur extrêmement âcre. Du reste, tous les phénomènes indiqués (pag. 257, §§ 3 et 4), ont lieu, et acquièrent même une plus grande intensité au moyen de la pile.

3.° Lorsqu'on fait communiquer avec les fils de la pile, deux électromètres extrêmement sensibles, ils donnent des marques d'électricité, très-faibles à la vérité, mais cependant non équivoques : l'extrémité zinc donne toujours de l'électricité vitrée, et l'extrémité argent ou cuivre, toujours de l'électricité résineuse. Ces électricités s'observent encore mieux, lorsqu'on se sert d'un petit condensateur (p. 249, §§ 9 — 12). On peut, avec cet instrument, charger ainsi de petites bouteilles, tracer les figures de *Lichtenberg* sur une électrophore (pag. 249, § 7), etc.

4.° Si l'on attache un fil-de-fer à l'une des extrémités de la pile et qu'on touche l'autre extrémité avec le même fil, on voit une étincelle

électrique (1). Le phénomène arrive plus sûrement, lorsqu'on enveloppe l'extrémité du fil-de-fer avec une légère feuille d'or : cette feuille est consumée à l'endroit ou l'étincelle a passé. On a enflammé du gaz tonnant avec cette étincelle, et même du phosphore et du soufre, en exployant la feuille d'or, etc.

5.° L'expérience la plus importante qui se fasse avec la pile, se rapporte à la Chimie; mais elle est si remarquable, que nous ne pouvons pas négliger de la décrire; il s'agit de la décomposition de l'eau. Pour l'effectuer, on remplit un tube de verre avec de l'eau distillée, et on le ferme à ses deux extrémités avec des bouchons de liége; à travers ces deux bouchons passent deux fils métalliques qui plongent dans l'eau, et dont les bouts ne sont éloignés intérieurement que de quelques lignes. Ordinairement on aiguise les extrémités intérieures, mais cela n'est pas nécessaire : ces deux fils communiquent extérieurement chacun à un des pôles de la pile ; ils peuvent être d'argent ou de quelque métal plus grossier. Dans tous les cas, on observe les phénomènes suivans : l'extrémité du fil qui est attaché au pôle argent ou cuivre, dégage dans l'eau une quantité de bulles d'air qui s'accumulent dans le haut du tube : lorsqu'on a rassemblé assez de cet air pour pouvoir l'éprouver, on reconnaît que c'est de l'hydrogène, l'un des principes constituans de l'eau. L'extrémité de l'autre fil qui communique au pôle zinc, se garnit de l'oxide du métal dont le fil est formé; ce qui prouve qu'il se fait de ce côté un dégagement d'oxigène. De cette manière, on peut distinguer et reconnaître les deux principes constituans de l'eau (pag. 11, § 9, et 107, § 6.)

Lorsque les deux fils sont de platine ou d'or pur, il se dégage des gaz des deux côtés ; de l'hydrogène, comme auparavant, du côté argent, et de l'oxigène du côté zinc. On se sert ici d'un tube recourbé en forme de V, afin de recueillir et d'éprouver séparément les deux gaz.

Cette décomposition peut s'opérer aussi par l'électricité ordinaire, mais non pas aussi commodément ni d'une manière si active. (*Annal. de Gilb*, XI, 220.)

---

(1) Si l'on attache deux fils métalliques très-fins aux pôles d'une pile électrique, et que l'on approche doucement ces deux fils l'un de l'autre jusqu'au contact, il s'établit entre eux une attraction qui les retient unis.

6.° En général, l'électricité de la pile exerce, à ce qu'il paraît, une plus grande influence sur les effets chimiques que sur les effets mécaniques. Dans la pile elle-même, il ne se fait pas seulement une décomposition de l'eau dont les rondelles d'étoffe sont mouillées; mais, lorsqu'on les a trempées dans une dissolution saline, on remarque aussi une décomposion du sel qui attaque et oxide fortement les plaques de métal entre lesquelles est placée la rondelle d'étoffe. D'après cette observation, plusieurs physiciens pensent que l'électricité de la pile, doit plutôt être attribuée à des actions chimiques qu'au contact des métaux; mais les principes qu'a donnés *Volta*, et les expériences contraires à cette opinion, ne lui laissent que peu de vraisemblance.

§ 8. Parmi les remarques faites nouvellement sur cet objet, la plus singulière, c'est que certains effets augmentent d'intensité avec la hauteur de la pile, ou plutôt avec le nombre des couples qui la composent, et que la force de quelques autres, dépend de la largeur de plaques.

Les effets qui se produisent sur les corps animaux, sont très-différens, selon le nombre des plaques; mais le plus ou le moins de largeur de ces plaques ne paraît influer sur eux que très-peu, ou même point du tout. Au contraire, l'étincelle acquiert une grande force et une influence chimique très-considérable, lorsqu'on emploie des plaques de 6 à 8 pouces de diamètre. Il y a apparence qu'aucun métal ne peut résister à l'effet de ce feu électrique; et même l'argent, l'or et le platine se fondent ainsi et s'oxident avec une belle lumière bleue, c'est-à-dire qu'ils brûlent; mais, pour cette expérience, ils doivent être employés en feuilles très-minces.

Rapports de *l'électricité avec le galvanisme.*

§ 9. Il est étonnant que, parmi des ressemblances si marquées entre les phénomènes de l'électricité et du galvanisme, on ne trouve, en aucun point, une concordance parfaite. La commotion que fait éprouver la pile, se distingue sensiblement de celle produite par la bouteille de Leyden. Avec de petites plaques, on n'obtient qu'une très-faible étincelle; avec des plaques larges, les effets chimiques de l'étincelle surpassent ceux de l'électricité ordinaire. L'attraction et la répulsion électriques, ainsi que la charge de la bouteille, ne se font

qu'avec beaucoup de difficultés au moyen de la pile, tandis que la décomposition de l'eau s'opère ainsi plus facilement, sans comparaison, que par la simple électricité. L'isolement sans lequel la plupart des expérience électriques ordinaires ne peuvent réussir, paraît à-peu-près inutile pour une grande partie des expériences faites avec la pile; cependant cette condition devient nécessaire, quand on veut mettre l'électromètre en mouvement, ou charger le condensateur ou des bouteilles. La présence de l'eau est entièrement inutile dans presque toutes les expériences électriques; c'est une condition essentielle pour toutes les expériences galvaniques.

Cependant, comme toutes ces différences sont plutôt produites par des diversités d'intensité, que par des anomalies véritables dans ce qui constitue les phénomènes, on ne peut pas mettre en doute l'identité de la force qui agit dans les deux cas. — En effet, on peut aisément concevoir qu'il doit exister une grande différence dans les effets, lorsqu'on pense que presque tous les phénomènes de l'électricité ordinaire, ont lieu par un mouvement instantané de la matière électrique, et qu'au contraire les phénomènes galvaniques ne s'opèrent qu'au moyen d'un courant continuel de cette même matière.

§ 10. Ceux qui voudront connaître plus exactement les expériences et les recherches innombrables des physiciens sur ces étonnans phénomènes, pourront consulter les *Annales de Gilbert*, où l'on peut prendre une idée de tout ce qui a été fait sur ce sujet. Pour cela, l'éditeur a donné dans un Supplément au douzième volume, une table alphabétique de tous les objets contenus dans les douze premiers, et de plus une revue systématique de tous les mémoires qui ont rapport au galvanisme.

ADDITION AU GALVANISME.

Les premiers phénomènes galvaniques consistaient dans des contractions musculaires excitées par le contact d'un arc métallique : *Galvani* et plusieurs autres physiciens les regardèrent d'abord comme produites par une électricité particulière et inhérente aux parties animales. *Volta* montra le premier que l'arc animal introduit dans ces expériences, ne servait qu'à recevoir et à manifester l'influence, mais très-peu, ou point du tout, à la produire. L'irritation musculaire que l'on avait cru d'abord la partie importante du phénomène, ne fut plus, selon lui, qu'un effet de l'action électrique produite par le contact mutuel des métaux dont l'arc excitateur était formé. Cette opinion qui trouva des partisans et des

contradicteurs, fit multiplier les expériences propres à l'appuyer et à la combattre, et il arriva ce qui arrive toujours dans l'enfance des découvertes : on vit paraître avec les faits une foule d'anomalies singulières qui rendaient leur liaison plus difficile, et qui même étaient alors absolument inexplicables, parce qu'elles étaient dues à des circonstances très-délicates dont l'influence n'était pas encore bien connue.

On se propose dans ce qui va suivre, de rendre compte des expériences fondamentales de *Volta* et de faire connaître comment cet illustre physicien les a fait servir à l'établissement de sa théorie :

« L'ensemble des phénomènes électriques a conduit les physiciens à admettre que tous les corps pondérables contiennent, dans leur état naturel, les principes des deux électricités, dans un état de combinaison qui les neutralise. Le frottement, la pression, l'élévation de température, le contact des métaux hétérogènes, dégagent les deux électricités de leur combinaison et rendent chacune d'elles sensibles, en la séparant de l'autre : *Volta* a donné le nom de *force électro-motrice* au pouvoir dont jouissent certains agens de séparer les deux espèces d'électricité : le caractère général de cette force, est toujours de mettre en évidence les deux électricités séparément ; ainsi le frottoir et le corps frotté, manifestent des électricités contraires ; les deux extrémités d'une tourmaline sont dans deux états électriques opposés ; deux disques de métaux différens isolés et mis en contact, se chargent l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative : dans tous les cas, les deux électricités se répandent chacune sur la surface des corps conducteurs qui sont en communication avec les corps électrisés. Quand deux métaux, par exemple, du zinc et du cuivre, exercent par leur contact une force électro-motrice, les électricités séparées se répandent sur les deux plaques et sur les conducteurs en communication avec ces plaques, qui n'exercent eux-mêmes aucune force électro-motrice. Mais si une lame de zinc était en contact par ses deux surfaces avec deux lames de cuivre, il n'y aurait point d'électricité décomposée dans le zinc ; car elle resterait en équilibre entre les deux forces égales et contraires, exercées sur les deux faces opposées de la lame de zinc. Il n'est pas nécessaire, pour que cet équilibre ait lieu, que les deux lames de cuivre soient égales ; une lame de zinc, soudée d'une part à une plaque de cuivre de même grandeur, et de l'autre à un simple fil du même métal, ne donne avec les plus forts condensateurs aucun signe d'électricité. Ainsi, par leur simple contact, deux métaux isolés, tels, par exemple, que deux plaques l'une de zinc et l'autre de cuivre, acquièrent la première, un excès d'électricité vitrée ou positive, et la seconde l'excès complémentaire d'électricité résineuse ou négative. On pourrait croire que l'électricité qui se développe dans cette circonstance, tient à une sorte de compression des plaques l'une contre l'autre : mais il est facile de prouver que l'action développée au contact des métaux, est uniquement excitée par une influence réciproque qui décompose leurs électricités naturelles. *Volta*

forme une lame métallique avec deux morceaux l'un de zinc, l'autre de cuivre soudés bout-à-bout ; prenant entre les doigts l'extrémité zinc, il touche avec l'autre extrémité cuivre le plateau supérieur d'un condensateur qui est aussi de cuivre, et dont le plateau inférieur communique avec le sol ; après le contact, si on enlève le plateau touché, on le trouve électrisé résineusement ou négativement. On obtient des effets pareils, sans toucher la lame de zinc avec les doigts, et en la tenant seulement par une tige isolante ; mais alors comme cette lame ne communique plus au sol, il faut la mettre en contact avec quelques corps d'une grande capacité dont elle puisse tirer l'électricité qu'elle doit fournir au plateau collecteur du condensateur. En second lieu, on prend entre les doigts l'extrémité cuivre, et avec l'extrémité zinc on touche le plateau supérieur du condensateur qui est de cuivre : lorsqu'on a détruit le contact et enlevé le plateau touché, il ne donne aucun signe d'électricité. Dans la première expérience, où les deux pièces de cuivre sont d'un même côté du zinc, la force quelle qu'elle soit qui développe l'électricité, agit donc comme une force attractive ou répulsive qui s'exercerait du zinc sur le cuivre et du cuivre sur le zinc : dans la disposition actuelle où les deux pièces de cuivre sont d'un même côté du zinc, cette force peut s'exercer, et l'électricité qu'elle développe, se répand sur le plateau de cuivre du condensateur. Mais dans la seconde expérience où le zinc se trouve entre deux cuivres, l'action *électro-motrice*, quelle que soit sa nature, s'exerçant également des deux côtés du cuivre, il ne doit donc pas se développer d'électricité. Les métaux et un grand nombre de substances non-métalliques agissent ainsi sur leurs électricités naturelles, quand on les met en contact les unes avec les autres : il y a de ces substances qui donneront le développement d'électricité le plus énergique ; d'autres pour lesquelles il sera faible et même insensible : dans la dernière classe, se trouvent l'eau pure, les dissolutions salines, et même les liqueurs acides mises en contact soit entre elles, soit avec les métaux. Ces liquides ne peuvent servir qu'à transmettre l'action réciproque du cuivre et du zinc, sans l'affaiblir : c'est un fait d'expérience. Ainsi, par exemple, dans la seconde expérience où le zinc était entre deux cuivres et où le développement d'électricité était nul, si entre le zinc et le plateau collecteur qui est de cuivre, on interpose une couche d'un liquide conducteur, tel, par exemple, qu'une goutte d'eau ou un papier humecté de quelque dissolution saline, ce corps intermédiaire suffira pour empêcher l'action électro-motrice du plateau sur le zinc, action qui ne se manifeste que dans le contact immédiat ; en outre, l'action électro-motrice du corps interposé, étant insensible, il peut, en vertu de sa faculté conductrice, transmettre l'électricité du zinc, développée par son contact immédiat avec l'autre cuivre, et, par l'intermédiaire du conducteur humide, ce conducteur transportera au plateau l'excès d'électricité vitrée ou positive du zinc. Par conséquent, si l'on soude ensemble deux plaques circulaires, l'une de zinc l'autre de cuivre, et si après avoir posé cette pièce sur la main par le cuivre, ce qui met le cuivre en commu-

nication avec le réservoir commun, et conséquemment le ramène à son état naturel, on recouvre sa face zinc avec un conducteur humide, par exemple, avec une rondelle de drap, imbibée d'eau ou de dissolution saline, tous les corps conducteurs que l'on mettra au-dessus de ce système, partageront l'excès d'électricité vitrée de la face zinc, qui se répandra sur le conducteur; si donc sur ce premier système, on en pose un autre pareil, de manière que sa face cuivre pose sur la rondelle humide, ce second système, comme corps conducteur, partagera l'excès d'électricité vitrée de la première face zinc, et, en outre, la seconde pièce de zinc prendra un nouvel excès d'électricité également vitrée, produit par la force électro-motrice du cuivre avec lequel elle est soudée. En ajoutant ainsi plusieurs systèmes semblables les uns sur les autres, on aura un appareil dans lequel l'état électrique des pièces successives, ira en augmentant de bas en haut. Tel est l'admirable instrument connu aujourd'hui sous le nom de *Pile voltaïque*, et dont la physique et la chimie ont obtenu des résultats si étonnans.

Passons au cas de la pile en communication avec le sol, et considérons d'abord une seule pièce formée d'une plaque de zinc soudée avec une plaque de cuivre de dimensions égales et en communication avec le sol; cette face cuivre sera dans l'état naturel; la face zinc prendra une quantité d'électricité vitrée + 1. On pose sur la face zinc une rondelle de drap, imbibée d'eau salée ou de tout autre liquide conducteur dont l'action électromotrice est insensible: l'électricité libre de la face zinc, se répandra sur la surface de ce conducteur; mais comme il faut que le zinc possède l'excès d'électricité vitrée qu'exige son contact avec le cuivre, il le reprendra au cuivre et celui-ci au sol. On prend une nouvelle pièce cuivre et zinc, pareille à la première, et après avoir touché sa face cuivre, on l'isole, puis on pose cette face sur la rondelle humide: alors il s'opère deux actions: 1.° la face de zinc de cette seconde pièce, conserve l'excès d'électricité + 1 qu'elle tient de son contact avec le cuivre: 2.° le système entier de cette seconde pièce partage l'électricité libre de la rondelle mouillée, comme ferait tout autre corps conducteur; la rondelle reprend cette électricité au zinc inférieur, celui-ci au cuivre, et le cuivre au sol: de sorte qu'après un temps très-court, si du moins la conductibilité est parfaite, il s'établit un état d'équilibre stable, dans lequel les quantités d'électricité libre, sont représentées dans le tableau suivant:

Pièce supérieure,	Face zinc z_2 soudée à c_2	+ 2
	Face cuivre c_2 communiquant à la rondelle humide	+ 1
Pièce inférieure,	Face zinc z_1 soudée avec c_1	+ 1
	Face cuivre c_1 communiquant au sol	0

Sur ce système posez une seconde rondelle, puis une troisième pièce cuivre et zinc: la face zinc de cette pièce, conservera l'excès + 1 d'électricité vitrée

qu'elle tient de son contact avec le cuivre ; mais, en outre, elle partagera, comme corps conducteur, l'électricité libre des pièces inférieures, qui se réparera aux dépens du sol, et quand l'état électrique sera devenu stable, on aura

Pièce 3,	Face zinc z_3 soudée à c_3	$+$ 3
	Face cuivre c_3 communiquant à la rondelle humide r_2 ...	$+$ 2
Pièce 2,	Face zinc z_2 soudée à c_2	$+$ 2
	Face cuivre c_2 communiquant à la rondelle humide r_1.	$+$ 1
Pièce 1,	Face zinc z_1 soudée à c_1	$+$ 1
	Face cuivre c_1 communiquant au sol.................	0

En continuant toujours la superposition des couples, on reconnaîtra que les quantités d'électricité vitrée libre, croîtront de bas en haut, suivant une progression arithmétique.

En général, soit n le nombre des élémens qui composent la pile en communication avec le sol : on aura pour les tensions des pièces de zinc, prises de bas en haut, la progression arithmétique

$$1;\ 2;\ 3;\ \ldots\ldots\ (n-2);\ (n-1);\ n$$

dont la somme est

$$\frac{n.(n+1)}{2}.$$

Les tensions des pièces de cuivre dans le même sens, formeront la progression

$$0;\ 1;\ \ldots\ n-3;\ n-2;\ n-1$$

dont la somme est

$$\frac{n.\,(n-1)}{2}.$$

En les ajoutant, on aura les quantités d'électricité que renferme la pile au-delà de son état naturel : cette somme sera n^2 qui exprime la charge de la pile ; elle est donc représentée par le carré de n, tandis que la tension de la pièce supérieure, l'est par la première puissance de n. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, les phénomènes dépendans de la quantité d'électricité qui s'accumule dans la pile, croîtront avec la hauteur de la colonne, plus rapidement que ceux qui dépendent uniquement des tensions.

Cette théorie suppose que la transmission de l'électricité, s'opère à travers les rondelles humides, sans aucun affaiblissement ; c'est le cas d'une conductibilité parfaite ; on y admet encore que les liquides interposés entre les élémens métalliques n'exercent sur eux qu'une action électromotrice nulle, ou assez petite pour pouvoir être négligée ; enfin pour passer d'un élément à un autre, on introduit une troisième donnée, c'est que l'excès 1 d'électricité que le zinc prend au cuivre,

est constant pour ces deux métaux, soit qu'ils se trouvent dans l'état naturel ou non, ces deux cas ayant lieu dans la théorie précédente et dans la suivante. *Coulomb* a vérifié cette loi et elle lui a paru exacte.

On a supposé la pile montée de cette manière : cuivre, zinc humide, cuivre, etc. : mais on pourrait aussi la monter en sens contraire, zinc, cuivre humide, zinc, etc., en établissant la communication du sol avec le premier zinc. Dans ce cas, la théorie serait absolument la même, avec cette seule différence que l'excès 1 qu'on peut noter par α, deviendrait négatif, c'est-à-dire, que les quantités libres d'électricité seraient de nature résineuse.

Considérons en second lieu une pile isolée ; dans cette hypothèse, la condition générale, c'est que 1° les différentes pièces conservent entre elles les différences d'électricité libre, qui conviennent à leur rang dans l'appareil ; 2° que ces différences résultent d'un développement d'électricités naturelles ; 3° que la somme des vitrées et des résineuses ou des positives et des négatives, soit toujours zéro, comme dans l'état naturel des pièces avant leur réunion en pile. S'il n'y a que deux pièces, l'une c_1 de cuivre, l'autre z_1 de zinc, il faudra que le zinc prenne $\frac{1}{2}$ et que le cuivre prenne $-\frac{1}{2}$; la différence sera $+1$, comme elle doit être dans le contact, et la somme sera zéro, comme elle doit l'être pour recomposer l'état naturel. Si l'on ajoute une troisième pièce c_2 qui doit être de cuivre, il faudra, pour qu'il se fasse un déplacement d'électricité, la séparer par un conducteur humide de la pièce de zinc z_1 ; alors elle devra acquérir le même état électrique que cette dernière : or, le système étant isolé, l'excès de la pièce supérieure c_2, ne peut s'acquérir qu'aux dépens des autres pièces : pour connaître l'état d'équilibre qui en résultera, nommons x la quantité d'électricité libre que possédera c_2 ; la pièce inférieure z_1 aura donc aussi x, et c_1 aura x — la différence des électricités libres, c'est-à-dire, $x - 1$, d'après ce qu'on a vu plus haut : la sommo $3x - 1$ doit être nulle, puisque ces quantités proviennent d'une décomposition d'électricité naturelle : on a donc $x = \frac{1}{3}$. Par conséquent

$$c_2 = +\frac{1}{3}, \quad z_1 = +\frac{1}{3}, \quad c_1 = -\frac{2}{3}.$$

Si on ajoute une quatrième pièce z_2 de zinc, il faudra qu'elle ait 1 de plus que la pièce de cuivre c_2 avec laquelle elle est en contact ; soit x la quantité d'électricité libre qu'elle possédera : l'état de la pièce c_2 sera donc $x - 1$: mais, à cause du conducteur humide, celui de z_1, sera aussi $x - 1$, et comme celle-ci a 1 de plus que la pièce c_1, l'état de cette dernière sera $x - 2$; on aura donc la somme $4x - 4$, laquelle devant être nulle, donne $x = 1$ et conséquemment

$$z_2 = +1, \quad c_2 = 0, \quad z_1 = 0, \quad c_1 = -1,$$

ainsi les deux pièces intermédiaires seront à l'état naturel. On peut continuer de cette manière, en ajoutant successivement une pièce et un conducteur humide de deux en deux pièces. Ces notions posées, nommons n le nombre des élémens de

la pile, en sorte que le nombre total des pièces qui la composent, soit $2n$: supposons toujours que la pièce inférieure soit de cuivre, la pièce supérieure de zinc, et représentons par x, la quantité d'électricité accumulée dans cette dernière au-delà de son état naturel.

Les tensions (p. 251, not.) des différentes pièces de zinc, formeront du sommet de la pile à sa base, la progression arithmétique

$$x\,;\ x-1\,;\ x-2 \ldots\ldots\ x-(n-1),$$

dont la somme est

$$nx - \frac{n.(n-1)}{2}.$$

Celles des pièces de cuivre formeront de même la progression

$$x-1\,;\ x-2\,;\ x-3 \ldots\ldots\ x-n,$$

qui a pour somme

$$nx - \frac{n.(n+1)}{2}.$$

La somme totale de ces tensions, est

$$2nx - n^2:$$

elle doit être nulle dans l'état d'équilibre, lorsque la pile est isolée, et qu'elle n'a que sa quantité d'électricité naturelle que nous avons représentée par o ; car alors l'excès des pièces supérieures ne peut s'acquérir qu'aux dépens des inférieures. On aura donc

$$2nx - n^2 = 0,$$

d'où l'on tire

$$x = \frac{n}{2}:$$

c'est la tension de la pièce supérieure zinc, dans l'état d'équilibre, lorsque la pile est isolée. La tension de la pièce inférieure qui est de cuivre, savoir : $x-n$, devient par cette valeur,

$$x - n = -\frac{n}{2},$$

et elle est la même que la précédente, au signe près.

La tension de la m^{e} pièce de zinc, en partant du sommet de la colonne, serait

$$x-(m-1),$$

ou

$$\frac{n}{2}-(m-1).$$

Celle d'une pièce de cuivre également distante de l'autre extrémité de la colonne, serait

$$x - n + (m-1)$$

ou

$$-\frac{n}{2}+(m-1):$$

elle est, au signe près, la même que la précédente, et par conséquent, lorsque la pile est isolée, et qu'elle n'a que sa quantité d'électricité naturelle, les pièces qui sont à égale distance de ses extrémités, se trouvent également électrisées, l'une en plus, l'autre en moins.

S'il y a une pièce de zinc qui soit dans l'état naturel, sa tension sera nulle, et son rang sera déterminé par l'équation

$$\frac{n}{2}-(m-1)=0, \text{ d'où } m=1+\frac{n}{2}:$$

or, m devant être un nombre entier positif, il faut nécessairement que n soit un nombre pair : alors la pièce de cuivre qui a la même tension prise avec un signe contraire, est aussi dans l'état naturel, et leurs distances respectives aux deux extrémités de la pile, étant $1+\frac{n}{2}$, elles se trouveront à son milieu : c'est ce dont on peut s'assurer, en faisant $n=8$, ce qui donne $\frac{n}{2}=4$ et $m=5$: alors la pile commençant par cuivre et se terminant par zinc, la pièce zinc sera la supérieure dans la première moitié de la pile, et la pièce cuivre sera l'inférieure dans l'autre moitié.

Lorsque la pile communique avec le réservoir commun, comme on l'a supposé dans le premier cas, c'est ce réservoir qui fournit le fluide décomposé, et alors la tension électrique augmente continuellement dans chaque plaque, à partir de celle qui est unie au sol ; dans ce cas, l'électricité qu'on obtient, est ordinairement positive, lorsque c'est le cuivre qui communique avec le réservoir, et négative lorsque c'est le zinc. Lorsque l'appareil est isolé, il ne peut puiser le fluide qui prend deux états différens que sur lui-même : il en résulte, comme on l'a vu, que la plaque centrale ne manifeste aucune tension électrique, et que celle des autres augmente à mesure qu'elles s'éloignent du centre, mais étant positive d'un côté et négative de l'autre.

La quantité d'électricité développée, toutes choses égales dailleurs, le contact et la communication étant aussi parfaits que possible, est en raison de la quantité et de la surface des plaques : cependant M. *Mollet*, physicien de Lyon, annonçait dernièrement qu'on obtient des effets très-énergiques avec un appareil composé d'un petit nombre de pièces de 5 centimes et de disques de zinc semblables. Dans la pile en communication avec le sol, si l'on touche d'une main la base de la pile, et que l'on porte l'autre main à son sommet, tous les excès d'électricité des différentes pièces, se déchargeront à travers les organes dans le réservoir commun, en supposant cependant la parfaite conductibilité des conducteurs humides :

cette décharge devra donc produire une commotion, comme celle de la bouteille de Leyden, mais avec cette différence remarquable que la sensation en paraîtra continue ; car la pile se rechargeant aux dépens du sol, beaucoup plus vite que les organes ne peuvent les décharger, la pièce supérieure se trouvera toujours presqu'aussi chargée qu'avant le contact. L'expérience confirme parfaitement ces indications.

Nous venons de voir que la pile voltaïque est une source inépuisable d'électricité, et que par là elle exerce une grande influence sur les corps. Examinons ce qui se passe lorsqu'on réunit ses deux pôles au moyen d'un fil conducteur : on conçoit qu'alors il ne peut pas y avoir destruction d'électricité, mais production d'un *courant*, puisque la source du fluide est permanente : ce fluide doit donc circuler sans cesse d'un pôle à l'autre, et quant à ses effets, on peut considérer ce courant comme double, l'un s'établissant du pôle positif au pôle négatif et l'autre en sens contraire du pôle négatif au pôle positif. On savait déjà que, dans ces circonstances, l'action électro-motrice de la pile ne cessait point : ainsi, quoique la tension électrique ne se manifeste plus alors à l'électromètre et au condensateur, on savait que les décompositions chimiques pouvaient encore se produire. M. *Davy* avait surtout fait connaître cet important phénomène d'incandescence, de chaleur et de lumière, produit dans le vide, lorsqu'on établit le circuit au moyen d'un charbon : ce corps brille alors de la lumière la plus vive ; il en émane une chaleur intense, et cependant aucune combustion n'a lieu, aucun atôme de ce corps n'est consumé : cette importante expérience peut totalement changer la manière d'envisager les phénomènes chimiques et conduire à la découverte de la cause de la chaleur et de la lumière. Mais plus de détails sur ce sujet, ne conviendraient pas dans un traité tel que celui-ci, et dailleurs nous aurons encore occasion d'y revenir dans le chapitre suivant.

SEPTIÈME SECTION.

DU MAGNÉTISME.

CHAPITRE XXXVII.

Des Propriétés générales de l'aimant.

§ 1. PARMI les différentes espèces de mines de fer que l'on trouve dans la nature, il en est une qui possède particulièrement la propriété surprenante d'attirer le fer par une force invisible. A la vérité, tous les morceaux de cette espèce de mine ne jouissent pas de cette faculté au même degré; mais elle se trouve dans le plus grand nombre et même dans des masses considérables. C'est ce qu'on nomme des *aimans naturels*. On peut communiquer cette propriété au fer et à l'acier, et produire ainsi des *aimans artificiels*. On croyait autrefois que la *force magnétique* appartenait exclusivement au fer; mais on sait maintenant qu'elle est commune encore à deux autres métaux, le nickel et le cobalt; et elle y est d'autant plus énergique, que ces substances sont plus pures. Cependant, comme il est difficile d'avoir des masses considérables de ces deux métaux, à un grand état de pureté, toutes nos connaissances sur leurs propriétés magnétiques, se bornent à savoir qu'ils sont attirés par un aimant. Mais il serait intéressant d'examiner s'ils sont, ainsi que le fer, susceptibles de recevoir intérieurement et de communiquer le magnétisme (1).

---

(1) C'est ce que j'ai fait sur des morceaux de nickel qui avaient été préparés à Berlin, et que M. *Berthollet* m'a donnés : je les ai façonnés en aiguilles en les passant au laminoir, car le nickel pur se lamine très-aisément, et j'ai pu alors essayer leur force magnétique par les oscillations, suivant la méthode qui sera exposée plus bas. J'ai vu ainsi que la force magnétique du nickel, est environ

Rapports de l'aimant avec le fer non-magnétique.

§ 2. Le fer à l'état métallique et à celui d'oxide noir, s'attache à l'aimant avec une force considérable ; dans le dernier cas, il faut pourtant qu'il ne soit pas trop fortement oxidé : cette force se mesure par le poids du fer que l'aimant peut enlever ; elle ne dépend pas de la grosseur de celui-ci ; car il y a de gros aimans qui n'ont que peu de force, et de petits qui en ont une beaucoup plus grande ; quelquefois même, ils peuvent porter des poids dix fois plus considérables que le leur propre. Au reste, l'expérience apprend que la force d'un même aimant est variable, suivant les positions dans lesquelles il agit.

§ 3. La force magnétique ne se manifeste pas avec une égale intensité dans tous les points de la surface d'un aimant : ordinairement il y a deux portions de cette surface dans lesquelles l'attraction est plus forte ; quelquefois, mais rarement, il y en a davantage : ces places se nomment les *pôles de l'aimant.* On peut reconnaître les pôles d'un aimant, en le plaçant dans de la limaille de fer : aux environs des pôles, elle s'attache beaucoup plus fortement à l'aimant que dans tous les autres points. On peut aussi les découvrir au moyen d'un brin de fil de fer très-mince : aux endroits où sont les pôles, il s'attache à l'aimant par une de ses extrémités, s'en tient éloigné par l'autre, et reste ainsi comme fixé perpendiculairement à la surface ; partout ailleurs il s'attache en prenant une position oblique dirigée vers le pôle le plus voisin : aux points à-peu-près également éloignés des deux pôles, il s'applique sur la surface dans le sens de la longueur.

§ 4. Lorsque les deux pôles peuvent agir en même-temps sur les extrémités opposées d'un morceau de fer, l'attraction magnétique en est augmentée. Par cette raison, on donne souvent aux aimans artificiels la forme d'un fer à cheval, dont les deux extrémités sont les deux pôles : on applique sur ces deux extrémités un morceau de fer doux qu'on appelle l'*ancre*, et qu'on charge d'autant de fer que l'aimant en peut porter.

---

le quart de celle de l'acier, à poids égal : il a, comme le fer, la propriété de la conserver et de la communiquer. Mais ces résultats ne sont points absolus, parce qu'ils doivent varier avec la force coercitive que l'on peut donner au nickel, en l'écrouissant par le marteau.

§ 5. La force magnétique n'exerce pas seulement son influence par le contact; un aimant un peu fort enlève de la limaille de fer *à distance :* cette force décroît avec l'éloignement; mais dans un morceau d'aimant de forme irrégulière, la loi de ce décroissement paraît fort compliquée; et, quoiqu'il soit facile de déterminer l'intensité de la force attractive pour chaque éloignement, au moyen d'une balance dans laquelle on place et l'on met en équilibre l'aimant et le fer qu'il doit attirer; cependant les expériences ont appris que la loi du décroissement, est tellement modifiée par la forme, la grandeur et la position des deux corps, qu'il est très-difficile de déterminer avec exactitude la loi propre et l'influence des circonstances modifiantes.

§ 6. Si l'on met un aimant sous un plateau uni de verre, de bois, de carton ou de quelque autre matière, pouvu que ce ne soit pas du fer, et qu'on répande ensuite de la limaille de fer sur la surface de ce plateau, les particules viennent se ranger dans une espèce d'ordre, et forment des lignes courbes qui paraissent aller d'un pôle vers l'autre, de manière qu'on peut ainsi distinguer facilement la position de ces points.

Cette expérience indique en même-temps que la force magnétique s'exerce également à travers tous les corps, si l'on en excepte le fer qui, selon la manière dont il est placé, favorise ou affaiblit l'effet magnétique. Nous nous assurerons encore mieux, comme on le verra bientôt, que cette force n'est nullement diminuée par l'interposition des corps matériels. D'après cette singulière propriété, il est facile de cacher un aimant ou le fer qu'il doit attirer, et c'est ainsi que sont disposées les nombreuses machines magnétiques qu'on emploie pour faire des tours d'adresse.

§ 7. On conserve à un aimant toute sa force, on l'augmente même quelquefois, en ayant soin de le charger autant qu'il peut l'être. Il est aussi très-utile de donner aux pôles leur situation naturelle (§ 8). Si on laisse l'aimant sans être chargé, sa force diminue peu-à-peu. Quant aux très-petits aimans, on peut les garder dans de la limaille de fer. La rouille affaiblit les effets magnétiques. Les aimans chauffés fortement, perdent tout-à-fait leur propriété. On a aussi observé qu'une chute ou le choc d'une pierre, ou aussi la décharge électrique, peuvent nuire quelquefois au pouvoir magnétique.

Propriété de l'aimant considéré isolément.

§ 8. Si, par un moyen quelconque, on place un aimant de manière à ce qu'il puisse se mouvoir librement en direction horizontale, il prend toujours de lui-même une position telle qu'un de ses pôles est dirigé vers le nord, et l'autre vers le sud. Par cette raison, on donne à ces points de l'aimant, les noms de *pôle austral* et de *pôle boréal ;* cette propriété elle-même s'appelle la *polarité* de l'aimant.

C'est d'après l'observation de cette propriété, qu'on a imaginé la *boussole* qui n'est qu'une aiguille d'acier aimantée, placée sur une pointe aiguë et qui peut se mouvoir librement en direction horizontale. On sait assez de quelle inappréciable utilité ce simple instrument est devenu pour la navigation, et par conséquent aussi pour tous les hommes : on ignore le nom de l'inventeur (*), et l'on place seulement d'une manière incertaine le temps de sa découverte entre le douzième et le quatorzième siècle. Les anciens ne connaissaient pas la boussole, quoiqu'ils connussent la propriété attractive de l'aimant.

Quelque peu de liaison qui paraisse exister, au premier coup-d'œil, entre la propriété attractive et la polarité de l'aimant, nous verrons cependant par la suite, que la polarité elle-même n'est que l'effet d'une attraction magnétique de la terre entière.

De l'action réciproque des aimans.

§ 9. Deux aimans s'attirent mutuellement par des points déterminés, et cette attraction est plus forte encore que celle qui existe entre l'aimant et le fer ; en d'autres points ils se repoussent, et au moyen de deux aiguilles aimantées, ou d'un aimant et d'une aiguille aimantée, on reconnaît facilement, à ces phénomènes, la loi suivante :

Les pôles de noms différens, boréal et austral, *s'attirent; les pôles de mêmes noms, se repoussent.*

Par cette raison, on appelle les pôles de noms différens, *pôles amis,* et ceux de noms semblables, *pôles ennemis.*

Cette loi fournit un moyen commode pour trouver les pôles d'un aimant et pour déterminer la dénomination de chacun d'eux.

(*) On peut consulter sur l'Origine de la Boussole, une Dissertation de M. *Dom. Alb. Azuni* imprimée à Paris, en 1805, opuscule de 133 pages.

§ 10. Comme un aimant d'une force convenable agit déjà à une distance assez grande sur une bonne aiguille aimantée, on peut se convaincre aisément par l'expérience, que les corps interposés ne diminuent point le pouvoir magnétique.

Communication du Magnétisme.

§ 11. On peut communiquer une force magnétique sensible à un petit morceau de fer, en passant dessus, à plusieurs reprises, le pôle d'un aimant : il faut seulement observer de passer toujours dans la même direction ; car si l'on revient en sens contraire, on diminue le magnétisme déjà communiqué. Une des meilleures manières de faire cette opération, est la suivante : Soient *ns*, (*fig.* 58) un barreau de fer non aimanté, et *NS* un aimant dont *N* est le pôle boréal, et conséquemment *S* le pôle austral ; on place l'aimant sur le fer, ainsi que la figure l'indique, de sorte que le pôle boréal touche au milieu du fer ; alors on presse l'aimant un peu fortement, et on le glisse dans la direction de *N* vers *S*, jusqu'à l'extrémité du fer ; puis on rapporte l'aimant à sa première place, et l'on répète plusieurs fois la même opération. On applique ensuite l'aimant sur l'autre moitié de la barre de fer, de sorte que le pôle austral touche au milieu, et l'on suit dans la direction de *S* à *N*, justement le même procédé que nous venons de décrire, en le répétant précisément autant de fois pour une moitié que pour l'autre. Le fer acquiert ainsi une propriété magnétique considérable (1).

Cette propriété se communique promptement au fer doux, mais elle y est peu durable : il est plus difficile de la donner à l'acier trempé, mais il la conserve beaucoup mieux.

Lorsqu'on communique le magnétisme avec un seul aimant, on nomme cette opération, la *méthode du simple contact.* Pour connaître la méthode du double contact qui se fait avec deux aimans, on doit consulter des ouvrages plus étendus. (Voyez la *Physique* d'*Haüy* et celle de *Biot.*)

§ 12. C'est une loi générale pour toutes les espèces de communications, que *les points qui sont touchés les derniers par une des*

---

(1) Il vaut mieux incliner le bareau *ns* à 10° ou 12° sur l'autre, que de l'appliquer entièrement sur sa surface.

extrémités de l'aimant, prennent des pôles de nom contraire à cette extrémité. Ainsi, dans l'opération ci-dessus décrite, *n* devient un pôle boréal, et *s* un pôle austral.

§ 13. L'aimant ne perd que peu ou point de sa force par ce procédé, lorsqu'il est exécuté de point en point, comme nous venons de l'expliquer, sans ramener jamais l'aimant sur lui-même en sens contraire. On peut donc, avec un seul aimant, communiquer le pouvoir magnétique à un grand nombre de barreaux de fer; et en réunissant ceux-ci, on compose un aimant très-fort qu'on appelle un *magasin magnétique.*

Partage du Magnétisme, et Sphère d'activité magnétique.

§ 14. Tant qu'un morceau de fer doux touche à un aimant, ou même tant qu'il en est proche, il est lui-même magnétique; mais dès qu'on l'en éloigne, le magnétisme qu'il avait acquis, disparaît à l'instant presque en totalité, et il n'en reste qu'une très-faible trace.

Dans ce cas, on dit que le fer n'est pas aimanté par la communication, mais par le partage du magnétisme; et l'espace au-dedans duquel cet effet a lieu, s'appelle la *sphère d'activité magnétique.* On peut reconnaître une certaine ressemblance entre ces phénomènes et ceux du partage de l'électricité, de la sphère d'activité électrique, etc.

Au moyen d'une aiguille aimantée, on peut rendre sensible la loi suivante qui a toujours lieu lors du partage de la force magnétique. Le *fer prend du côté qui est proche de l'aimant, un pôle de nom différent, et attirable par le pôle de l'aimant le plus voisin, et par conséquent à l'autre extrémité du fer, il se forme un pôle de même nom que ce pôle de l'aimant, et susceptible d'être repoussé par lui.*

§ 15. Cette ressemblance avec l'électricité a donné naissance à des hypothèses sur les causes du magnétisme, qui ont quelque rapport avec celles de *Franklin* et de *Symmer* sur l'électricité.

Æpinus reconnaît une seule matière magnétique dont les parties se repoussent entre elles et sont attirées par le fer et l'acier; elle est partout uniformément répandue; elle se trouve accumulée dans le fer, mais toujours uniformément. Dans l'aimant, elle est en excès d'un côté, ce qui donne un magnétisme positif, et elle manque de l'autre, ce qui produit un magnétisme négatif.

Wilke et *Brugmann* admettent deux matières magnétiques qui s'attirent entre elles, tandis que les particules de chacune d'elles se repoussent mutuellement : ces deux matières se trouvent combinées dans le fer ; dans l'aimant elles sont séparées, et chacune d'elles est accumulée vers un des côtés.

Il est difficile de croire que l'une ou l'autre de ces hypothèses exprime une chose réelle (1) ; mais la dernière est un moyen commode de réunir tous les principes du magnétisme, et d'en expliquer suffisamment les phénomènes.

Les hypothèses plus anciennes de *Descartes*, d'*Euler*, de *Bernoulli*, etc., qui supposaient une matière se mouvant en tourbillons dans l'aimant, sont plus forcées et beaucoup moins satisfaisantes (2).

§ 16. D'après la loi que suit le partage du magnétisme, on peut expliquer facilement comment, par l'attraction magnétique, la limaille de fer forme des lignes courbes (pag. 273, § 6).

§ 17. C'est en se fondant sur la même loi qu'on a imaginé ce qu'on appelle l'*armure* d'un aimant naturel : voici comment elle se construit. Soit A*sn* (*fig.* 59) un aimant naturel dont *s* est le pôle austral, et *n* le pôle boréal : un morceau de fer doux BC, est limé de manière qu'il

---

(1) Ceci ne doit plus paraître aujourd'hui si invraisemblable que le supposait alors l'auteur. *Voyez* l'addition placée à la fin de cette section.

(2) C'est encore M. *Coulomb* qui a donné à ces idées de deux fluides magnétiques, l'exactitude nécessaire pour qu'elles pussent former un corps de doctrine : il a fait osciller une très-petite aiguille aimantée à diverses distances d'un des pôles d'une barre très-longue, aussi aimantée, mais dans un degré beaucoup plus considérable : l'effet de la force magnétique pour produire ces oscillations, est analogue à celui de la pesanteur pour produire les oscillations du pendule, et elles peuvent également servir à mesurer l'intensité du magnétisme. Or, en comparant entre elles les forces de ces oscillations, M. *Coulomb* a remarqué qu'elles deviennent de plus en plus lentes, à mesure que la petite aiguille s'éloigne du centre de la force attractive ; ce qui prouve que l'effet de cette force diminue à mesure que la distance augmente ; et d'après la loi de ce ralentissement, il a prouvé, par le calcul, que l'attraction magnétique est constamment réciproque au carré de la distance, ainsi que l'attraction électrique et la pesanteur terrestre. Le célèbre astronome *Tobie Mayer*, de Gottingue, était parvenu aux mêmes résultats, comme je l'ai vu par des extraits de ses manuscrits que son fils a bien voulu me communiquer.

s'y applique exactement, et qu'il touche les deux pôles ; au-dessous justement de ces deux pôles, le fer doit avoir deux proéminences S et N; on recouvre le reste de l'aimant avec une enveloppe de cuivre DFE, et on y joint un anneau en F, pour pouvoir la suspendre : on applique alors une *ancre* (pag. 272, § 4) aux deux proéminences S et N, afin de charger plus commodément l'appareil.

Au moyen de cette disposition, le fer doux devient lui-même, par le partage du magnétisme, un aimant dont le pôle austral se trouve en S, et le pôle boréal en N.

L'expérience a montré qu'un aimant armé a une force plus active et plus durable qu'un aimant ordinaire.

CHAPITRE XXXVIII.

Développement plus précis des phénomènes de l'Aiguille aimantée.

§ 1. Si une aiguille d'acier, non aimantée, est mise en équilibre sur une pointe aiguë, de manière à se tenir parfaitement horizontale, cet équilibre n'aura plus lieu lorsqu'elle sera aimantée; et, ce qui est très-remarquable, l'inclinaison qu'elle prendra sera différente selon les différens pays. Dans notre hémisphère boréal, l'aiguille se penche (*) vers le nord; dans l'hémisphère austral, elle se penche vers le sud. On doit conclure de ce phénomène, que la force qui influe sur la di-

(*) En admettant (pag. 277, not. 2) que les deux fluides magnétiques de même nom se repoussent, et que ceux de noms opposés s'attirent, il faudra supposer qu'il existe un rapport semblable entre les pôles de la terre vers lesquels l'aimant se dirige, de telle sorte que l'extrémité de l'aiguille, qui se dirige vers le pôle nord de la terre, a les propriétés du fluide contraire à celui de ce pôle, c'est-à-dire, celles du fluide austral, tandis que l'extrémité de l'aimant qui se dirige vers le pôle sud de la terre, partage les propriétés du fluide boréal. « C'est ici l'occasion de rapporter une expérience simple et propre à donner une idée de la manière dont s'exercent les attractions et les répulsions magnétiques : on prend deux barreaux aimantés d'égale force, et l'on présente chacun d'eux successivement à une clef; elle est attirée, quelque soit le pôle qu'on lui fasse toucher : si maintenant qu'elle est soutenue par ce pôle, on approche le pôle de nom contraire de l'autre barreau, la clef tombe aussitôt. »

rection de l'aiguille aimantée, ne s'exerce pas ici horizontalement, mais qu'elle suit un angle très-incliné à l'horizon. Lorsqu'on veut observer parfaitement les phénomènes de l'aiguille aimantée, il faut avoir deux espèces d'aiguilles : une pour l'examen de la direction horizontale, et c'est ce qu'on nomme une *aiguille de déclinaison*; une autre pour la recherche de l'inclinaison vers la terre, et celle-ci s'appelle, par cette raison, une *aiguille d'inclinaison*.

De l'Aiguille de déclinaison.

§ 2. On fait l'extrémité boréale de cette aiguille plus légère que l'extrémité australe, de manière qu'elle puisse se mouvoir tout-à-fait horizontalement: après qu'elle est aimantée, on l'enferme dans une boîte de cuivre, et on l'entoure avec un cercle qui est divisé en degrés, ou, pour la navigation, en trente-deux parties que l'on nomme rhumbs de vents.

Une aiguille disposée ainsi prend divers noms, selon le but auquel elle est destinée : si elle doit être employée à des recherches exactes sur la direction de l'aiguille, on l'appelle un *déclinatorium*; on lui donne une longueur de 6 à 12 pouces : l'aiguille et la division du cercle qui l'entoure, doivent être travaillées avec un soin extrême. Si elle doit servir à la navigation, elle prend le nom de *boussole* : on peut aussi l'employer à mesurer des angles, et c'est ainsi que les ingénieurs, et même les mineurs s'en servent quelquefois (1).

---

(1) La meilleure manière de disposer une aiguille magnétique pour des expériences exactes, c'est de la suspendre à un fil de soie, tel qu'il sort du cocon, ou à un assemblage de fils de soie de ce genre, réunis dans le sens de leur longueur. Cette suspension ne donnant aucun frottement et aucune force de torsion sensible, laisse à l'aiguille toute sa liberté. C'est le même procédé que celui que nous avons décrit pour la balance électrique, et il est originairement dû à *Gilbert*, physicien anglais. Si l'on veut voir tous les procédés du magnétisme réunis dans un très-petit espace, et accompagnés des moyens d'observations les plus précis, il faut lire deux Mémoires de M. *Coulomb*; le premier, dans les *Mémoires de l'Institut*, tom. V, a pour objet la détermination de l'inclinaison de l'aiguille dans chaque lieu; l'autre dans les mêmes Mémoires, tom. VI, renferme les méthodes les plus sûres et les plus simples pour aimanter des aiguilles à saturation. Ces deux points renferment tout l'objet du *Magnétisme*. *Voyez* aussi le *Précis de Physique* de *Biot*.

§ 3. Si l'on compare la direction d'une aiguille de déclinaison avec une ligne méridienne astronomique déterminée exactement, on voit qu'à Paris, par exemple, l'aiguille ne se dirige pas précisément vers le nord, mais qu'elle s'en écarte d'environ $22^{\circ}\frac{1}{2}$ vers l'ouest. Par cette raison, de même qu'on nomme méridienne astronomique, la ligne qui se dirige exactement du midi au nord, la direction de l'aiguille aimantée, a reçu le nom de *Méridienne magnétique* (*).

§ 4. Mais la déclinaison n'est pas la même en chaque lieu. Lorsqu'on va à l'ouest ou à l'est de l'Europe, on voit la déclinaison diminuer à mesure qu'on s'éloigne, en restant toujours occidentale. On trouve dans l'Amérique septentrionale une ligne qui se continue en direction à-peu-près sud-est, par les golfes du Mexique et du Brésil, jusque dans la mer Atlantique, et dans laquelle la déclinaison est nulle. Une autre ligne semblable traverse dans la même direction l'Asie et toute la mer du Sud : au-delà de ces deux lignes, l'aiguille décline vers l'est. (*Voyez* les Dictionnaires de Physique, article *Abweichung de Magnetnadel.*)

§ 5. La déclinaison varie aussi dans chaque lieu avec le temps. Au dix-septième siècle, la ligne sans déclinaison qu'on observe maintenant en Amérique, traversait l'Europe : depuis ce temps, elle s'est éloignée de plus en plus en s'avançant vers l'ouest; et de même toutes les lignes qui ont des déclinaisons semblables, se meuvent et font le tour de la terre dans l'espace de quelques siècles. On conçoit facilement qu'il doit résulter de ceci des changemens de déclinaison pour chaque lieu. Il paraît que la déclinaison occidentale augmente lentement jusqu'à une certaine limite qui est environ pour nous de 19 à 20 degrés; ensuite elle commence à décroître lentement, puis devient nulle durant quelque temps, et se change en déclinaison orientale, jusqu'à ce qu'après avoir atteint un certain degré, elle rétrograde et redevient nulle, etc. Mais des observations continuées durant plusieurs siècles, seraient nécessaires pour déterminer avec certitude les périodes et les lois de ce mouvement (**). D'après les observations

---

(*) On peut concevoir aussi un autre grand cercle de la sphère, perpendiculaire à cette méridienne magnétique, et qu'on a nommé *Équateur magnétique :* cet équateur n'est bien constaté que dans une moitié de la terre.

(**) En 1580, la déclinaison de l'aiguille à Paris, était orientale et de 11° 30';

faites jusqu'ici, et qui n'ont été commencées avec l'exactitude nécessaire que depuis un siècle et demi environ, ce mouvement ne paraît pas très-régulier (1).

§ 6. Indépendamment de ces grandes variations, on observe encore un petit mouvement diurne, mais il ne peut être aperçu qu'avec des aiguilles très-grandes et très-exactes. Durant les heures du matin, l'aiguille décline un peu plus vers l'ouest; après le milieu du jour, elle rétrograde avec un mouvement lent vers l'est : *Graham* remarqua le premier ce mouvement, en 1722 ; *Wargertin* et *Canton* ont répété et suivi ces observations ; le dernier de ces physiciens a prouvé par des expériences, que la chaleur a sur le magnétisme une influence qui mérite d'être examinée.

De l'Aiguille d'inclinaison.

§ 7. Une lame d'acier amincie aux deux extrémités, et longue de quelques pouces, est percée justement à son centre de gravité; un axe court qui se termine en deux pointes aiguës, est placé à ce point, et l'appareil est assujéti sur un support, de manière que l'aiguille puisse avoir un mouvement vertical sur l'axe. Comme elle se meut autour de son centre de gravité, elle doit, avant d'être aimantée, demeurer en équilibre dans chaque position (chapitre XI, pag. 32 et suiv.); mais lorsqu'elle est devenue magnétique, son extrémité boréale s'incline beaucoup, du moins en Europe : on applique au support un arc de cercle exactement divisé en degrés et en minutes, pour mesurer l'inclinaison à l'horizon.

La construction d'un semblable instrument a beaucoup de difficultés, et une bonne aiguille d'inclinaison est une chose extrêmement rare.

---

elle a diminué jusqu'à 1663, où elle était zéro, et où par conséquent l'aiguille se dirigeait exactement vers le nord; elle est demeurée stationnaire pendant deux ans; elle s'est ensuite portée à l'ouest, de manière qu'en 1678, elle était dans ce sens, de 1° 30′ ; en 1700 de 8° 10′ ; en 1780 de 19° 55′ ; en 1805 de 22° 5′ ; en 1813 elle était de 22° 28′, et en 1815, elle n'était plus que de 22° 19′, et elle est restée, à-peu-près, à ce point jusqu'à ce jour.

(1) Il n'est pas même sûr que ce mouvement soit oscillatoire, comme l'auteur le suppose ici; car, depuis un assez grand nombre d'années que l'aiguille a atteint sa limite vers l'ouest, elle n'a pas rétrogradé sensiblement.

§ 8. Il faut aussi beaucoup de soin pour faire usage de cette aiguille, parce qu'elle doit être placée justement dans la direction d'un méridien magnétique, pour indiquer exactement l'inclinaison : dans toutes les autres positions, elle s'incline trop fortement, et même elle peut prendre la situation verticale. On conçoit ceci facilement, lorsqu'on dirige l'aiguille de manière qu'elle fasse un angle considérable avec le méridien magnétique, et qu'on se représente un fil attaché à sa pointe, lequel l'attirerait dans la direction magnétique (1).

---

(1) On peut observer également dans toute direction, sans connaître le méridien magnétique, au moyen de la propriété suivante que je crois avoir remarquée le premier.

Si l'on a observé les inclinaisons de l'aiguille sur la verticale, dans deux plans verticaux quelconques, mais perpendiculaires l'un à l'autre, le carré de la tangente de l'inclinaison dans le méridien magnétique, est égal à la somme des carrés des deux tangentes des inclinaisons observées. Soient H la force horizontale qui tire l'aiguille dans le méridien magnétique ; V la force verticale, et i l'inclinaison comptée à partir de la verticale : on aura, dans le méridien magnétique,

$$\text{tang } i = \frac{H}{V}.$$

Pour un autre plan vertical qui fera l'angle a avec le méridien magnétique, la force horizontale ne sera plus $= H$; mais elle sera égale à H décomposée suivant la direction de ce plan, c'est-à-dire à $H \cos a$: la force verticale V sera encore la même, et l'inclinaison de ce plan, à partir de la verticale, étant représentée par i', on aura

$$\text{tang } i' = \frac{H \cos a}{V};$$

ou, en mettant pour $\frac{H}{V}$ sa valeur V tang i,

$$\text{tang } i' = \text{tang } i \cos a.$$

Si l'on désigne par i'' l'inclinaison dans le plan vertical, perpendiculaire au précédent, on aura

$$\text{tang } i'' = \text{tang } i \sin a;$$

en élevant ces deux équations au carré, et les ajoutant ensemble, il viendra

$$\text{tang}^2 i' + \text{tang}^2 i'' = \text{tang}^2 i;$$

ce qui est la propriété énoncée plus haut.

§ 9. A cause de ces difficultés pour la construction et l'usage de cet instrument, il n'y a que peu d'observations exactes de l'inclinaison : en Prusse, on l'évalue à-peu-près à 71 degrés. Ce qu'on peut déduire d'ailleurs des observations jusqu'à présent faites, est ce qui suit :

§ 10. L'inclinaison est encore plus variable, dans les différens lieux, que la déclinaison : vers le nord, elle augmente, et vraisemblablement il y a dans l'Amérique septentrionale, environ à 14 ou 17 degrés du pôle boréal, une place où l'aiguille est tout-à-fait verticale. Vers le sud, l'inclinaison diminue, et il y a dans la zone torride une ligne qui fait le tour de la terre, et où l'aiguille demeure horizontale : cette ligne passe au-dessus de l'équateur dans notre hémisphère, et au-dessous dans l'autre. Au-delà de cette ligne, le côté sud de l'aiguille commence à s'incliner, d'autant plus fortement qu'on s'éloigne davantage, et il est probable que, dans la Nouvelle-Zélande, environ à 35 ou 40 degrés du pôle austral, il y a une place où l'aiguille prend encore une situation verticale (1).

§ 11. L'inclinaison change aussi avec le temps; mais les lois de ces variations ne se déduisent que d'hypothèses, et non pas d'observations précises. (*Voyez* l'article *Neigung Magnetnadel*, dans les Dictionnaires de Physique.) (*)

---

(1) Dans un Mémoire que j'ai composé avec M. de *Humboldt*, et qui est principalement fondé sur ses observations, nous avons trouvé une loi qui lie entre eux tous les résultats de l'inclinaison dans tous les lieux de la terre, qui même avec une modification indiquée par les observations, représenterait aussi la déclinaison et les variations d'intensité des forces magnétiques dans les différentes parties du globe. J'ai vu depuis, dans les manuscrits de *Tobie Mayer*, qu'il avait été conduit à des résultats semblables. (*Voyez* le *Journal de Physique*.)

(*) On peut suspendre l'aiguille à un fil de soie très-délié, fixé à son centre de gravité : quand elle est aimantée, elle cesse d'être horizontale : cet effet dépend de l'attraction des pôles magnétiques de la terre pour les pôles de l'aiguille ; ensorte que l'inclinaison est nulle dans l'équateur magnétique, parce qu'alors les deux pôles magnétiques agissent également pour faire incliner l'aiguille dans des sens contraires. Le pôle austral de l'aiguille marqué N, est abaissé, dans l'hémisphère nord, tandis que son pôle boréal marqué S, est abaissé à son tour dans l'hémisphère sud : ces inclinaisons augmentent à mesure qu'on s'approche des pôles. A Paris, l'aiguille est inclinée de 68° 30'. Sa plus grande inclinaison dans

Magnétisme terrestre.

§ 12. Les phénomènes que présentent les deux aiguilles, nous autorisent, ou plutôt nous obligent à considérer la terre elle-même suivant les mêmes lois d'après lesquelles un aimant agit sur un autre. *Euler* a montré qu'en donnant aux pôles magnétiques de la terre, à-peu-près la même position qui est indiquée à l'art. 10, on peut expliquer entièrement les phénomènes de la déclinaison et de l'inclinaison. (*Voyez* les Recherches sur la déclinaison de l'aiguille aimantée, *Mémoires de l'Acad. de Berlin*, 1757). On peut concevoir facilement, d'après ce que nous avons dit sur les rapports réciproques de deux aimans, que le pôle magnétique placé dans l'Amérique septentrionale, doit prendre le nom de *pôle austral*, et que celui qui se trouve à la Nouvelle-Zélande, doit être appelé *pôle boréal*.

§ 13. Effectivement, il n'est pas improbable qu'il puisse exister une grande masse de fer magnétique dans l'intérieur de la terre; car ce métal est répandu avec une telle abondance que chaque poignée de terre en contient toujours quelque peu (1). De plus, les observations faites au moyen du pendule (pag. 53, § 13), rendent vraisemblable que le noyau intérieur de la terre consiste plutôt en une masse métallique qu'en une simple masse terreuse. Si l'on admet, en outre, les observations de *Canton* sur l'influence de la chaleur relativement au magnétisme (pag. 281, § 6), on est conduit à penser que le

---

l'hémisphère austral, a été observée par le capitaine *Cook*, à 60° 40′ de latitude, et à 93° 45′ de longitude occidentale; elle était de 43° 45′. Vers le pôle boréal, le capitaine *Philips* a trouvé l'inclinaison de 82° 9′, à la latitude de 79° 44′. Cette inclinaison n'est pas constante dans le même lieu: en 1798, elle était à Paris, de 69° 51′; en 1810, de 68° 50′; en 1818, de 68° 35′: à Londres en 1775, elle était de 72° 30′; en 1805 de 70° 21′. Il paraît cependant que l'inclinaison est moins variable que la déclinaison.

(1) Il paraît plus simple de considérer, comme nous l'avons fait M. *de Humboldt* et moi, l'action magnétique de la terre entière, comme la résultante des actions de toutes les particules magnétiques qui y sont disséminées. Au reste, toutes les hypothèses que l'on a faites sur ce sujet, et celle même que nous avons proposée, doivent être considérées seulement comme des moyens plus ou moins commodes de représenter les faits, et de les lier les uns aux autres. (*Voyez* mon *Traité de Physique*.)

mouvement diurne du soleil, de l'est vers l'ouest, peut causer une rétrogradation occidentale des pôles magnétiques, au moyen de laquelle les variations de déclinaison et d'inclinaison peuvent s'expliquer plus naturellement que si l'on voulait supposer, avec quelques physiciens, un mouvement particulier de l'aimant dans la terre.

Excitation du magnétisme naturel.

§ 14. Pour compléter la connaissance que nous avons donnée du magnétisme terrestre, nous devons ajouter qu'on a observé que le fer exposé à l'air pendant un temps considérable, s'aimante de lui-même, sur-tout s'il est placé dans la direction du méridien magnétique. Cette observation a donné lieu à l'expérience suivante : on a placé un barreau de fer dans l'exacte direction magnétique de la déclinaison et de l'inclinaison, et on a reconnu qu'un semblable barreau s'aimante de lui-même en très-peu de temps, et qu'on peut accélérer cet effet par des coups et des frottemens. (*Gehler*, III, 111; *Fischer*, III, 445.)

§ 15. On a très-inconvenablement donné le nom de *Magnétisme animal*, à de certains phénomènes singuliers qui s'opèrent dans les corps humains vivans, et qui n'ont aucun rapport au sujet que nous venons de traiter.

Voyez sur le magnétisme proprement dit, les ouvrages suivans qui sont considérés comme classiques : *Musschenbrock, Diss. de Magnete, in Diss., phys.* 1729; les ouvrages de *Brugman* sur l'aimant et la matière magnétique; celui d'*Æpinus*, et les Mémoires de *Cavallo* sur le magnétisme (1).

ADDITIONS.

I.re Le célèbre astronome *Halley* est un des premiers qui ait entrepris de tracer sur une mappemonde, la suite des points où la déclinaison est zéro, et que l'on a appelée *bande sans déclinaison :* on a observé jusqu'ici trois de ces bandes elles changent continuellement de position et de figure. A Paris, la déclinaison était nulle en 1666; mais 136 ans après cette époque, on l'a trouvée de 22° 3′ vers

(1) *Voyez* aussi le *Traité de Physique* de *Biot*, et l'article Magnétisme de l'Encyclopédie d'Édimbourg.

l'ouest : dans le même lieu, la déclinaison a été constante depuis 1720 jusqu'à 1724. Un fait très-digne d'attention, est celui qui a été remarqué par *Halley*, à la seule inspection de la table de déclinaison, publiée par l'excellent observateur *Van Swinden* auquel il avait échappé : on distingue dans cette table trois endroits où l'aiguille a subi les plus grandes déclinaisons à une certaine époque : *Halley* a trouvé qu'ils formaient comme trois centres autour desquels les variations décroissent insensiblement à mesure qu'on s'en éloigne : dans ces divers lieux, les variations de déclinaison, pendant 66 ans, n'ont pas été à un degré. Les variations diurnes de l'aiguille aimantée ont encore été suivies par *Van Swinden* avec l'attention et la constance qui caractérisent ce physicien. Les variations de déclinaison, qui, au milieu de leur inconstance, ont, jusqu'à un certain point, une marche suivie et réglée, sont cependant sujettes à des anomalies subites qui portent visiblement le caractère d'une cause perturbatrice, anomalies que les marins ont désignées sous le nom *d'affollemens*. L'aiguille est quelquefois agitée par un temps d'orage ou par la présence d'une aurore boréale (Recueil de Mémoires sur l'analogie de l'élect. et du magn. par *Van Swinden*). Les points où l'aiguille est exactement parallèle à l'horizon, forment une courbe qui coupe l'équateur sous de petits angles, et à laquelle on a donné le nom *d'Équateur magnétique*. — Le plan vertical suivant lequel l'aiguille aimantée se dirige dans chaque lieu, s'appelle *le Méridien magnétique* : si dans ce plan l'aiguille est écartée de l'angle qu'elle doit y faire avec la verticale, qui est l'inclinaison, elle sera sollicitée à s'en rapprocher, comme on voit un pendule écarté de la verticale, faire effort pour y revenir en vertu de son poids ; et de même que le pendule ne revient à cette position d'équilibre que par une suite d'oscillations, de même aussi l'aiguille abandonnée librement dans le méridien magnétique, oscillera de part et d'autre de son inclinaison fixe, jusqu'à ce que ce mouvement d'oscillation soit détruit. Le célèbre *Humboldt*, avant de partir de Paris, avait soumis à l'expérience une boussole qui donnait 245 oscillations en 10 minutes ; au Pérou, elle n'en a plus donné que 211 dans le même temps, et le nombre de ces oscillations diminuait ou augmentait à mesure qu'on s'approchait de l'équateur ou qu'on s'en éloignait. Les actions de ces forces magnétiques du globe, dont l'intensité est variable en différens lieux, ne s'étendent pas seulement à tous les points de la surface du globe, mais elles se propagent dans l'espace : *Biot* et *Gay-Lussac* ont trouvé que le nombre des oscillations faites par l'aiguille aimantée au haut des airs, ne différait pas sensiblement de celui qui avait lieu à la surface de la terre. Ainsi tout porte à croire que la force magnétique se répand indéfiniment dans l'espace où sans doute elle subit des décroissemens qui deviendraient sensibles à un certain terme, s'il nous était permis d'y arriver. M. *Laplace* a proposé un moyen de déterminer à l'aide du calcul, l'inclinaison de l'aiguille, en partant des observations relatives à l'oscillation. « Nous avons cru devoir placer ici la partie suivante d'un rapport

par MM. *Humboldt*, *Cuvier*, *etc.*, sur le *Voyage de Découvertes*, exécuté en 1822.....1825, sous le commandement de M. *Duperrey*.

Les phénomènes du magnétisme terrestre, malgré plus d'un siècle de recherches, sont encore enveloppés dans une grande obscurité. M. *Duperrey* s'en est occupé pendant toute la durée de son voyage, avec l'attention la plus soutenue, soit à la mer, soit dans les relâches. Ses journaux renferment une multitude d'observations de déclinaison, d'inclinaison, d'intensité et de variations diurnes de la déclinaison, faites par les meilleures méthodes.

Il existe, comme on sait, sur le globe, une courbe le long de laquelle l'aiguille aimantée se place horizontalement; cette courbe, qu'on a appelée l'équateur magnétique, a été naguère l'objet des recherches de MM. *Hansteen* et *Morlet*; quoique ces deux physiciens aient fait usage des mêmes données, ils sont cependant arrivés sur quelques points à des résultats légèrement différens. Dans la carte du savant norwégien comme dans celle de notre compatriote, l'équateur magnétique est, en totalité, au sud de l'équateur terrestre, entre l'Afrique et l'Amérique : le plus grand écartement de ces deux courbes en latitude, qui correspond à environ 25° de longitude occidentale, est de 13° ou 14°; dans la première carte on trouve un nœud, en Afrique, par 22° de longitude orientale; la seconde le place 4° plus à l'occident; suivant MM. *Hansteen* et *Morlet*, si l'on part de ce nœud en s'avançant du côté de la mer des Indes, la ligne sans inclinaison s'éloigne rapidement vers le nord de l'équateur terrestre; sort de l'Afrique un peu au sud du cap Guardafui, et parvient, dans la mer d'Arabie, à son maximum absolu d'excursion boréale (environ 12°), par 62° de longitude orientale : entre ce méridien et le 174e degré de longitude, la ligne sans inclinaison se maintient constamment dans l'hémisphère boréale; elle coupe la presqu'île de l'Inde, un peu au nord du cap Comorin; traverse le golfe du Bengale en se rapprochant légèrement de l'équateur terrestre dont elle n'est éloignée que de 8°, à l'entrée du golfe de Siam; remonte ensuite un tant soit peu au N.; est presque tangente à la pointe septentrionale de Bornéo; traverse l'île Paragua; le détroit qui sépare la plus méridionale des Philippines de l'île Mindanao; et sous le méridien de Waigiou, se trouve de nouveau placée à 9° de latitude N. De là, après avoir passé dans l'archipel des Carolines, l'équateur magnétique descend rapidement vers l'équateur terrestre et le coupe, d'après M. *Morlet*, par 174°, et suivant M. *Hansteen*, par 187° de longitude orientale. Il y a beaucoup moins d'incertitude sur la position d'un second nœud situé aussi dans l'océan Pacifique; sa longitude occidentale doit être de 120° environ; mais tandis que les recherches de M. *Morlet* l'ont conduit à admettre que l'équateur magnétique, après avoir seulement touché l'équateur terrestre, s'infléchit aussitôt vers le sud, M. *Hansteen* suppose que cette courbe passe dans l'hémisphère N., sur une étendue de 150° de longitude, et revient ensuite couper de nouveau la ligne équinoxiale à 23° de distance de la côte occidentale d'Amérique. Du reste,

pour qu'on ne s'exagère point cette discordance, nous devons dire que, dans son excursion boréale, la courbe sans inclinaison de M. *Hansteen*, ne s'éloigne pas de l'équateur terrestre de plus d'un degré et demi, et, qu'en définitive, cette ligne et celle de *Morlet* ne sont nulle part à 2° de distance l'une de l'autre, dans le sens de cercles de latitude.

Ces divers résultats se rapportent à l'équateur magnétique de l'année 1780; est-il survenu, depuis lors, des changemens notables, soit dans la forme de cette courbe, soit dans la position de ses nœuds? Nous ne doutons pas que les travaux de M. *Duperrey*, réunis aux excellentes observations de M. *Freycinet*, n'éclaircissent complétement cette question.

La corvette *la Coquille* a coupé six fois l'équateur magnétique. Deux des points dont elle a ainsi déterminé directement la position, sont situés dans l'océan Atlantique, par 27° 19′ 22″ et 14° 20′ 15″ de longitude occidentale, et par 12° 27′ 11″ et 9° 45′ 0″ de latitude sud. Dans la carte de M. *Morlet*, les latitudes des points de la ligne sans inclinaison correspondant à 27° 1/4 et 14° 1/3 de longitude occidentale, sont respectivement: 14° 10′ et 11° 36′. La ligne sans inclinaison semble donc, sur le premier point, s'être rapprochée de l'équateur terrestre de 1° 43′, et, par le méridien du second, de 1° 51′. La carte de M. *Hansteen* donne à fort peu près les mêmes différences.

Dans la mer du sud, près de la côte d'Amérique, M. *Duperrey* a trouvé d'abord, en allant du Callao à Payta, et ensuite pendant la navigation entre Payta et les îles de la Société, deux points de l'équateur magnétique, dont voici les coordonnées :

Longit. 83° 38′ O.; Latit. 7° 45′ S.;

Longit. 85° 46′ O.; Latit. 6° 18′ S.

Dans les cartes de MM. *Hansteen* et *Morlet*, les latitudes sont d'environ un degré plus petites. Ici la différence est en sens contraire de celle que nous avons trouvée dans l'océan Atlantique; en sorte que vers les côtes du Pérou, l'équateur magnétique semble s'être éloigné de l'équateur terrestre.

Passons enfin aux deux points directement déterminés pendant la circumnavigation de *la Coquille*, dans la partie boréale de la ligne sans inclinaison. M. *Duperrey* a trouvé pour leurs coordonnées :

Longit. 170° 37′ 24″ E...... Latit. 0° 53′ N.;

Longit. 145° 2′ 38″ E...... Latit. 7° 0′ N.

Ces latitudes sont plus petites sur les cartes qui représentent l'équateur de 1780. Dans la partie de l'océan Équinoxial correspondant aux Carolines ou aux îles Mulgraves, la ligne sans inclinaison semble donc s'éloigner de l'équateur terrestre.

Des variations, en apparence si contradictoires, s'expliqueront néanmoins très-

simplement, même sans qu'il soit nécessaire d'admettre un changement de forme dans l'équateur magnétique, pourvu que l'on suppose que cette courbe est douée d'un mouvement de translation qui, d'année en année, la transporte progressivement et en masse de l'orient à l'occident. De 1780 à l'époque actuelle, cette rétrogradation des nœuds, pour qu'on pût en déduire la valeur numérique des changemens observés dans les latitudes, ne devra guère être au-dessous de 10°; si la rapidité de ce déplacement était regardée comme une objection, nous ferions remarquer que les observations directes de la position des nœuds conduisent, à fort peu près, aux mêmes résultats. M. *Duperrey* a trouvé, en effet, un nœud de la courbe par 172° environ de longitude orientale; sur la carte de M. *Hansteen*, ce nœud est placé au 184.e degré. Dans la mer du Sud, le nœud tangent de M. *Morlet*, les deux nœuds de M. *Hansteen* se trouvent entre le 108.e et le 126.e degré de longitude occidentale. Des observations fort exactes faites à bord de *l'Uranie*, en 1819, et que M. de *Freycinet* a eu la bonté de nous communiquer, portent ce nœud jusqu'au 132.e degré de longitude. Nous trouvons enfin, dans un ouvrage du capitaine *Sabine*, publié depuis quelques semaines seulement par ordre du bureau des longuitudes de Londres, une observation qui montre d'une manière non moins évidente, que le point d'intersection des deux équateurs, qui était situé en Afrique dans l'intérieur des terres et assez loin de la côte, en 1780, s'est avancé de l'orient à l'occident jusque dans l'océan Atlantique : l'observation dont nous voulons parler, a été faite à l'île portugaise de Saint-Thomas : M. *Sabine* y a trouvé, en effet, pour la valeur de l'inclinaison, en 1822, 0° 4′ S. L'équateur magnétique passe donc actuellement par cette île dont la latitude est 24′ N. Quelques minutes plus à l'occident, son point d'intersection avec l'équateur terrestre, est à 5° environ de longitude orientale, tandis que, d'après les observations de 1780, MM. *Morlet* et *Hansteen* l'ont placé 13° au moins plus à l'E.

D'après ces divers rapprochemens, l'existence d'un mouvement de translation dans l'équateur magnétique, est très-probable : M. *Morlet* l'avait déjà indiqué, mais avec la juste défiance que devaient lui inspirer des mesures d'inclinaison obtenues sans changement des pôles de l'aiguille. Aujourd'hui on pourra obtenir, à cet égard, une certitude complète, en discutant sous le même point de vue l'ensemble des observation faites en pleine mer dans les régions équinoxiales. Les journaux tenus à bord de *l'Uranie* et de *la Coquille*, renferment tous les élémens de ce travail, à notre avis, l'un des plus importans que l'on puisse maintenant entreprendre sur les phénomènes du magnétisme terrestre. Il paraîtrait, en effet, que c'est la forme et la position de la ligne sans inclinaison, qui règlent d'un pôle à l'autre, dans quel sens, en chaque lieu, les variations annuelles de l'aiguille aimantée se manifestent. Cette conjecture, en tant qu'il est question du changement d'inclinaison, se trouve consignée dans l'intéressant mémoire de M. *Morlet*, que l'Académie, il y a déjà quelques années, a honoré de son approbation. Si l'on

appelle latitude magnétique d'un point, la distance angulaire de ce point à la ligne sans inclinaison, mesurée sur le méridien magnétique considéré comme un grand cercle, on trouvera en général, suivant M. *Morlet*, que l'inclinaison de l'aiguille diminue là où le mouvement de translation de l'équateur tend à diminuer la latitude magnétique, et qu'elle augmente au contraire par-tout où la latitude magnétique s'agrandit. Quelques lieux tels que la Nouvelle-Hollande, Ténériffe, etc., lui paraissaient néanmoins faire exception. Les observations recueillies dans les voyages de *l'Uranie* et de *la Coquille*, nous ont permis de soumettre cette règle à un plus grand nombre de vérifications et de reconnaître qu'elle s'acorde avec l'expérience, d'une manière fort remarquable, même dans les stations que M. *Morlet* avait exceptées. On voit de cette manière que si l'inclinaison S. augmente rapidement à Sainte-Hélène, pendant que l'inclinaison N. diminue rapidement à l'Ascension, c'est parce que, dans son mouvement de translation, l'équateur magnétique qui s'éloigne sensiblement de la première de ces îles, s'approche au contraire de la seconde qu'elle finira même par atteindre en peu d'années. Le méridien magnétique du Cap, prolongé vers le N., passe à une petite distance d'un des nœuds vers l'O.; dès-lors l'inclinaison doit augmenter rapidement, et c'est aussi ce que montrent les observations de *Cook*, de *Bayly*, de *King*, de *Vancouver*, et de M. de *Freycinet*. A Tahiti, *Bayly*, *Wales* et *Cook* trouvèrent et 1773, 1774 et 1777, une inclinaison de l'aiguille d'environ 30°; M. *Duperrey* déduit de ses mesures 30° 36′; le changement annuel est presque insensible; mais aussi le méridien magnétique de Tahiti rencontre la ligne sans inclinaison, très-près de son maximum de latitude, dans un point où cette courbe est presque parallèle au méridien terrestre. Le rapide changement d'inclinaison, à la Conception du Chili, déduit de la comparaison des mesures de *Malespina* et de M. *Duperrey*; la petitesse, au contraire, de ce mouvement aux îles Sandwich, qui nous paraît résulter des observations de *Bayly*, de *Cook*, de *Vancouver* et de M. de *Freycinet*, n'offrent pas une confirmation moins frappante de la règle.

Si une discussion exacte des observations de l'aiguille horizontale montrait, comme cela paraît être au premier aperçu, qu'en chaque lieu les changemens de déclinaison peuvent aussi se rattacher à la position de l'équateur magnétique, l'étude du mouvement de cette courbe acquerrait une nouvelle importance. C'est une recherche dont MM. de *Freycinet* et *Duperrey* possèdent tous les élémens et qui nous paraît digne de fixer leur attention. Nous nous contenterons ici de faire remarquer qu'il résulte des observations de ces deux officiers, comparées à celles de *Cook* et de *Vancouver*, que la déclinaison, soit à Otahiti au sud des deux équateurs, soit aux îles Sandwich, par une latitude boréale, y est maintenant aussi peu variable que l'inclinaison.

L'expédition maritime de *l'Uranie* est la première pendant laquelle on ait étudié les oscillations diurnes de l'aiguille aimantée horizontale. Les précieuses

observations rapportées par M. de *Freycinet*, ont établi d'une manière incontestable qu'entre les tropiques, l'étendue de cette oscillation est sensiblement moindre que dans nos climats. On paraissait pouvoir en déduire que, dans l'hémisphère austral, quelque soit le sens de la déclinaison, l'extrémité N. de l'aiguille se meut vers l'E. aux mêmes heures où nous la voyons en Europe marcher vers l'O.; ce fait, à son tour, amenait à la conséquence qu'entre l'Europe et les régions où M. *Freycinet* avait observé, il devait se trouver des points dans lesquels la variation serait absolument nulle: il restait seulement à déterminer si ces points appartenaient à l'équateur magnétique ou à l'équateur terrestre. La seconde supposition ne pouvait guère se concilier avec l'existence, à Rawack, d'une variation diurne de trois à quatre minutes; car ce port, situé dans la terre des Papous, n'a que 0° 1' 1/2 de latitude S: néanmoins il paraissait desirable, pour dissiper toute incertitude, qu'on observât le phénomène entre les deux équateurs. Tel a été le principal objet de la relâche de M. *Duperrey* à Payta: et dans cette ville située au nord de l'équateur magnétique et au sud de l'équateur terrestre, l'extrémité N. de l'aiguille, observée avec un microscope, se mouvait comme en Europe, de l'orient à l'occident, depuis huit heures du matin jusqu'à midi. Ce déplacement angulaire était très-petit, mais sa direction sur laquelle les observations ne laissaient aucune incertitude, paraissait autoriser la conséquence que tout le long de l'équateur magnétique, l'aiguille horizontale n'éprouve pas de variations diurnes: dans d'autres stations placées comme Payta, à l'île de l'Ascension, par exemple, on a pu voir cependant que cette conclusion aurait été prématurée. Le phénomène est plus complexe qu'on ne l'imaginait. Peut-être les changemens du soleil, qui, en Europe, occasionnent de si grandes variations dans l'amplitude des oscillations diurnes, amènent-ils, suivant les saisons, sous les tropiques, des mouvemens de l'aiguille dirigés en sens inverse. Des observations ultérieures, faites dans des mois et lieux convenablement choisis, lèveront ces doutes. Aussi nous paraîtrait-il très-utile que l'Académie voulût bien, dès ce moment recommander ces recherches, d'une manière spéciale, à l'attention des navigateurs, et que la même recommandation fût adressée à tous les marins qui entreprennent des voyages de long cours.

Pour terminer cet article dont nous espérons qu'on daignera excuser l'étendue, nous devons encore ajouter que M. *Duperrey* a donné toute son attention aux expériences d'où l'on peut déduire les intensités comparatives du magnétisme terrestre, et qu'il s'est également occupé des observations propres à donner les corrections dont les élémens magnétiques obtenus en pleine mer pourront être susceptibles: il nous a semblé qu'en général ces corrections seront très-petites.

« 11.ᵐᵉ M. *Arago* a fait connaître, l'année dernière, à l'Institut de France, une expérience nouvelle sur l'action qu'une aiguille aimantée, librement suspendue, éprouve de la part de tous les corps et surtout des métaux. L'aiguille est suspendue immobile au-dessus du centre d'une plaque circulaire de la substance dont on veut con-

naître le pouvoir (*Nouveau bulletin des scien. de la société Philomatique, année* 1825) : lorsqu'on donne à cette plaque une vitesse de rotation même fort petite, l'aiguille est déviée de sa direction primitive : si le mouvement est uniforme et lent, elle se fixe invariablement dans une position nouvelle : si le mouvement est assez rapide, l'aiguille dévie de plus en plus d'un angle droit, finit pas décrire une circonférence, et peut même prendre un mouvement de rotation qui s'accélère. Dans ces expériences, l'aiguille est mise à l'abri des agitations de l'air, en plaçant l'appareil sous une cage de verre. Il est remarquable que la plaque circulaire perd presque toute son influence sur l'aiguille, lorsqu'on pratique à sa surface, et suivant différens rayons, des fentes très-étroites qui diminuent à peine sa masse. MM. *Herschell* et *Babbage*, en répétant ces belles expériences (*Trans. Phil. de Londres, pour* 1825, *et Bull. des Sciences*, *mars* 1826), ont trouvé que lorsqu'on remplit les fentes de la plaque, en les soudant ou en y versant un autre métal en fusion, le disque reprend toute son énergie : mais il n'en est pas de même, lorsqu'on y verse un liquide, ou qu'on les remplit avec de la limaille même très-pressée. En prenant pour unité l'action du cuivre, des disques de différens métaux, animés du même mouvement, doivent être, quant à leurs effets, classés dans l'ordre suivant : cuivre 1 ; zinc 0,93 ; étain 0,46 ; plomb 0,25 ; antimoine 0,09 ; bismuth 0,02. Mais si l'on a égard au temps nécessaire pour produire une déviation donnée avec une certaine vitesse uniforme, cet ordre change un peu, et le zinc doit être placé avant le cuivre : ces habiles physiciens ont été conduits à cette conséquence remarquable, que le temps est un élément dont il faut tenir compte, quand il y a développement de magnétisme par influence. Pour rendre les effets plus sensibles, c'est-à-dire, pour faire connaître les plus petites forces qui tendent à produire une déviation dans l'aiguille, on commence par soustraire cette aiguille à l'action du globe, en plaçant convenablement des barreaux aimantés, et si alors les effets que l'on observe sont encore très-faibles, on peut, pour les mettre mieux en évidence, faire suivre au plateau les oscillations de l'aiguille : de cette manière, en faisant décrire au disque, alternativement dans les deux sens, des arcs même de très-peu d'étendue, on fait pirouetter l'aiguille au bout de quelques instans ; les oscillations prennent successivement plus d'amplitude, et l'aiguille finit par suivre le mouvement du plateau, comme si elle y était attachée. Lorsque l'aiguille oscille, si l'on fait faire au plateau des oscillations en sens inverse, on finit par la fixer presqu'aussitôt. L'intensité de la force exercée sur l'aiguille, paraît être la même pour les différens points du plateau. En prenant les mêmes précautions, on peut encore faire osciller une aiguille, lorsque son extrémité seule est en présence du bord du disque. (*Corr. Math. et Phys., II.e vol., pag.* 160.)

III.me La physique s'est enrichie dans ces derniers temps d'une branche entièrement nouvelle qui s'occupe des actions mutuelles que peuvent exercer les uns sur les autres ; les corps conducteurs dans lesquels il n'y a actuellement

aucune tension électrique sensible, mais qui sont le siège d'un *courant galvanique*. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que les premiers phénomènes de ces influences, ont été reconnus par M. *Œrstedt* entre un conducteur voltaïque et une aiguille aimantée, et cela à une époque où on était loin de soupçonner l'analogie qui peut exister entre l'état magnétique d'un corps et son état électrique. Dans un aussi grand nombre de phénomènes divers tels que ceux que nous offrent les courans voltaïques, et dont les causes étaient encore inconnues, il était important, mais très-difficile de découvrir le fait général qui pouvait en rendre compte, et fournir en même temps les moyens d'en prévoir de nouveaux. C'est ce qu'a fait M. *Ampère* dont nous allons exposer la théorie avec les développemens que comporte l'étendue d'une note. Supposons qu'une pile soit placée horizontalement, à-peu-près, dans la direction du méridien magnétique, et qu'on ait disposé dans la même direction une portion de fil conducteur; supposons de plus qu'une aiguille aimantée soit posée au-dessous ou au-dessus d'une portion de ce conducteur; si l'on se place par la pensée dans la direction du courant, et de manière que ce courant soit dirigé des pieds à la tête et qu'on ait la face tournée vers l'aiguille, c'est toujours à gauche que le pôle austral est porté par l'action du courant qui se produit dans la pile de l'extrémité négative à l'extrémité positive. L'action du courant tend à mettre l'aiguille dans un sens perpendiculaire à sa propre direction; mais celle du globe s'y oppose, ensorte que l'aiguille s'arrête dans une direction oblique au fil. On détruit l'influence du globe, ainsi que l'a fait M. *Ampère*, et que nous l'avons déjà dit, en fixant l'aiguille aimantée, perpendiculairement à un axe auquel on donne la direction de l'aiguille d'inclinaison : en effet, quand une aiguille aimantée ne peut se mouvoir que dans un plan et en tournant autour d'un axe perpendiculaire à ce plan, elle est toujours amenée par l'action du globe dans la situation où elle forme le plus petit angle possible avec la direction d'inclinaison qu'elle prendrait si elle était libre, de manière que son pôle austral soit le plus près possible de celui de l'aiguille d'inclinaison. Il suit delà que quand on veut la direction de l'aiguille dans un plan quelconque, il faut projeter la direction de l'aiguille d'inclinaison sur ce plan, et la ligne de projection sera celle où l'aiguille s'arrêtera : si le plan est perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison, celle de l'aiguille aimantée formant toujours un angle droit avec elle, et ne pouvant s'en approcher ni s'en éloigner, toutes les positions lui deviendront indifférentes. On peut encore placer sous l'aiguille aimantée et perpendiculairement à sa direction, un aimant assez fort pour compenser l'action du globe : l'aiguille ne deviendra pas absolument indifférente à toute situation; mais, du moins, elle sera extrêmement mobile. Un fil conducteur et un aimant dont l'axe fait un angle droit avec la direction de ce fil, s'attirent quand le pôle austral est à la gauche du courant qui agit sur lui, c'est-à-dire, quand sa position est celle que le fil conducteur et l'aimant tendent à prendre, en vertu de leur action mutuelle. Mais,

comme l'a remarqué M. *Ampère*, il faut, pour que cette attraction ait lieu, que la droite qui mesure la plus courte distance entre le fil et l'axe de l'aimant, rencontre cet axe entre les pôles : cette observation est d'autant plus importante qu'elle explique pourquoi l'action attractive devient nulle vis-à-vis du pôle, et se change en répulsion quand la droite qui mesure la plus courte distance entre le fil conducteur et l'axe, rencontre cet axe au-delà du pôle. Il y a, au contraire, répulsion, quand le pôle austral est à droite, c'est-à-dire, quand le fil conducteur et l'aimant sont maintenus dans une position opposée à celle qu'ils tendent à se donner, pourvu toujours que la droite qui mesure la plus courte distance tombe entre les deux pôles; car, lorsqu'elle tombe au-delà, il y a attraction. Dans ces cas, l'action entre le fil conducteur et l'aimant est réciproque. Tous les points d'un courant continu existant dans un fil rectiligne, sont dans un état de répulsion. Si l'on suppose que le fil qui est le siège d'un courant rectiligne, se fléchisse dans son milieu, de manière que ses deux parties forment un angle ; si par exemple, le courant marche dans la ligne AB (*fig.* 60), et qu'on la fléchisse en C, le courant se portera de A en C, puis de C en B', c'est-à-dire que la première portion se portera vers le sommet de l'angle, tandis que la seconde s'écartera de ce sommet, et alors les deux portions de conducteur CA et CB' se repousseront : cette répulsion aura lieu au contact, comme à distance, et elle sera réciproque. La puissance qui agit pour éloigner deux portions de courans, l'un de l'autre, a toujours pour direction la droite qui joint ces deux portions ; ainsi le point B' est repoussé par le point A suivant la droite AB'. Lorsque deux portions de courans ne se coupent pas et ne sont pas parallèles, c'est-à-dire, lorsqu'ils ne sont pas dans un même plan, le même effet de répulsion a lieu, tant que les fils vont en se rapprochant de la plus courte distance qui peut se trouver entre elles, et qu'on sait être une perpendiculaire aux deux droites. Lorsque deux courans sont parallèles, la même répulsion existe. Lorsqu'on change la direction du courant dans l'une de ses deux portions, la répulsion se change en une attraction parfaitement égale. En termes généraux : *il y a répulsion entre deux portions de courans dont l'un s'approche et l'autre s'éloigne du sommet de l'angle qu'elles forment, ou de la plus petite distance qu'il y ait entre elles ; tandis qu'il y a attraction entre deux portions de courans qui s'approchent ou s'éloignent tous deux de ce sommet, ou de cette plus petite distance.* Dans les attractions et les répulsions électriques ordinaires, ce sont les électricités d'espèces opposées qui s'attirent, et celles de même nature se repoussent. Si deux fils conducteurs sont attirés, ils restent attachés, tant que le courant dure; tandis que, dans l'électricité ordinaire, la répulsion succède promptement à l'attraction. On doit ajouter que ces effets ont lieu dans le vide comme dans l'air. On conclut de la proposition ci-dessus, que deux courans parallèles en sens opposés, se repoussent, et que deux courans parallèles dans le même sens, s'attirent ; car on peut toujours

supposer que deux droites parallèles concourent à une distance infinie. On démontre par l'expérience que si on présente à un courant rectiligne, un autre courant sinueux, l'intensité d'action de ce dernier, sera exactement la même que celle d'un courant rectiligne qui irait de l'une à l'autre de ses extrémités. Ces propositions tendent à expliquer tous les phénomènes d'attraction et de répulsion réciproques, et même certains mouvemens de rotation continue que l'on observe dans les conducteurs galvaniques. Nous en citerons quelques exemples. Si l'on a (*fig.* 61) un conducteur indéfini AB dans lequel le courant marche de A en B, qu'on lui présente perpendiculairement à sa longueur, un conducteur mobile *ab*, dans lequel l'électricité marche de *a* en *b*; la portion AC du grand conducteur attirera le conducteur *ab*, tandis que la portion CB le repoussera : par conséquent le conducteur *ab* tournera autour du point *b*, pour venir s'appliquer sur CA. Si l'on a (*fig.* 62) un conducteur indéfini AB dans lequel le courant marche de A en B, et qu'on lui présente perpendiculairement à son milieu un conducteur *ab* dans lequel l'électricité marche de *b* en *a*, la portion AC du grand conducteur repoussera le conducteur *ab*, tandis que la portion CB l'attirera : en conséquence le conducteur *ab* viendra s'appliquer sur la portion CB. Si l'on place au-dessus d'un courant AB (*fig.* 63) marchant de A en B, un conducteur *ab* mobile sur son milieu, et dans lequel le courant marche de *a* en *b*, ce dernier se placera toujours dans une direction perpendiculaire à AB ; car cette position est la seule où les attractions et les répulsions puissent se faire équilibre; tandis que ce conducteur *ab* toujours mobile sur son milieu, s'il était placé à côté du courant AB, se mettrait, pour les mêmes raisons, dans une direction parallèle. Si dans le voisinage d'un courant indéfini AB (*fig.* 64) marchant de A en B, on place un conducteur *ab* mobile autour du point *b*, dans lequel le courant marche de *a* en *b*, et assez éloigné du conducteur AB, pour décrire librement une circonférence, ce conducteur se mettra en effet en mouvement, et tournera toujours dans le même sens autour du point *b*. En effet, dans la position *ab*, le courant qui suit cette ligne, est attiré par le courant de la portion AC, et repoussé par le courant de la portion CB : parvenu dans la situation $a'b$, l'attraction de AC continuera, et celle de CB viendra s'y joindre : si le conducteur mobile parvient ainsi dans la situation $a''b$, il sera repoussé par la portion AC et attiré par la portion CB ; il arrivera donc en $a'''b$, et alors la portion CB le repoussera pour le ramener à sa direction primitive *ab*. On voit que ce mouvement circulaire s'opérera dans le sens du courant AB, si le courant du petit conducteur *ab* s'approche de son point fixe, tandis qu'il aurait lieu en sens contraire, si le courant du petit conducteur s'éloignait du même point fixe. Si l'on établit un conducteur circulaire dans lequel un courant marche de A en B (*fig.* 65), que l'on place au-dedans de ce courant un conducteur *ba* mobile autour du point *b*, dans lequel le courant marche de *a* en *b*, on conçoit qu'il devra se livrer aussi à un mouvement de rotation continu ; car, dans le cas supposé, la portion AC repoussera le conducteur *ba*,

tandis que la portion CB l'attirera. Cette proposition s'applique à tous les points du cercle où le conducteur *ab* pourra se transporter. Ceci revient à supposer que le conducteur AB (*fig.* 61) est replié en cercle autour du point *b* : alors son action pour faire tourner *ba* autour de *b* devient constante ou uniforme. M. *Faraday* a observé le premier qu'au moyen d'un aimant, on pouvait imprimer à un fil conducteur un mouvement de rotation qui se continue toujours dans le même sens. M. *Ampère* a produit un mouvement semblable au moyen de deux fils conducteurs. En général, les expériences par lesquelles on constate tous les faits que nous venons d'énoncer sur les attractions et les répulsions des courans électriques, sont très-délicates, et, à cet effet, M. *Ampère* a imaginé des appareils fort ingénieux que nous ne pouvons décrire ici. On peut rendre les effets dynamiques d'un courant circulaire, infiniment plus énergiques qu'ils ne le sont naturellement, en employant un fil de métal recouvert de soie et contourné un grand nombre de fois sur lui-même ; les différens contours restent isolés par la présence de la soie et les effets se trouvent proportionnels au nombre de circonvolutions dont chacune est le siège d'un courant. M. *Sweiger*, de Halle, imagina un appareil propre à mettre en évidence, à l'aide de l'aiguille aimantée, l'existence des courans électriques les plus faibles : cet instrument se nomme *multiplicateur* : son effet est fondé sur l'action égale qu'exercent sur l'aiguille aimantée toutes les parties d'un fil conducteur. Si par exemple, une aiguille aimantée est placée (*fig.* 66) entre deux portions *ab* et *bc* d'un semblable fil, et que les fils et l'aiguille soient dans un même plan vertical, on conçoit que l'aiguille doit recevoir une impulsion double de celle qu'un seul fil lui imprimerait. En effet, les deux impulsions données à l'aiguille par les deux portions du fil, s'ajoutent entre elles, puisqu'elles sont parcourues par le courant électrique dans deux sens différens ; on augmentera donc encore l'effet, en faisant faire au fil conducteur plusieurs circonvolutions (*fig.* 67.) Nous citerons une jolie expérience de M. *Gay-Lussac* ; si l'on plonge dans l'acide sulfurique étendu d'eau un circuit voltaïque fermé et formé par le cuivre et le zinc, l'hydrogène de l'eau se porte vers le cuivre, et l'oxigène se combine avec le zinc, d'où on conclut qu'il faut éviter le contact de deux métaux différens dans des pièces qui doivent plonger dans l'eau : par exemple, les plaques de cuivre, employées pour doubler les vaisseaux, étant fixées avec des clous, il se forme ainsi un élément galvanique : les sels de l'eau de la mer sont décomposés, et bientôt tout le contour des clous est corrodé. M. *Davy* a eu l'heureuse idée de mettre en communication un morceau d'étain ou de zinc avec le cuivre qui double les vaisseaux ; alors ce dernier métal étant électrisé négativement, repousse les acides et surtout l'oxigène de l'eau, et se conserve intact.

IVme Depuis l'établissement de la doctrine de *l'électro-magnétisme*, on ne peut douter que le globe ne soit une espèce de pile galvanique dont les pôles sont en communication, et par conséquent où règnent des courans électriques ;

car, dans toutes les expériences de ce genre, où l'on doit tenir compte de l'action du globe, il suffit de l'assimiler à un fil conducteur et de calculer de la sorte son influence : rien n'est en effet plus naturel que de penser que la superposition des couches hétérogènes, telles que nous les rencontrons à la surface du globe, produit une décomposition du fluide électrique, absolument analogue à celle qui a lieu dans la pile, et par suite établit à cette surface des courans électriques semblables à ceux de la pile. On concevra de même la direction des courans de l'est à l'ouest, en remarquant qu'elle est, à-peu-près, opposée au mouvement de la terre, lequel doit exercer une grande influence sur le mode d'action du fluide et sur sa marche. Enfin on sait que les variations de chaleur dans les corps, suffisent pour leur faire prendre des états galvaniques différens : on ne sera donc point étonné de voir plusieurs phénomènes magnétiques liés intimément à la présence et à la marche apparente du soleil autour de la terre ; l'action de cet astre doit nécessairement faire varier l'intensité des courans, et elle explique ainsi les variations diurnes et annuelles que présente l'aiguille aimantée : on expliquerait avec la même facilité l'inclinaison et la déclinaison de cette aiguille. L'aiguille aimantée située dans la direction du méridien magnétique, est perpendiculaire à la direction des courans, ensorte que sa déclinaison est due à la différence entre l'équateur terrestre et l'équateur magnétique suivant lequel a lieu la direction des courans, différence qui peut avoir pour cause la révolution annuelle de notre globe, et présenter une période de variations, analogue à celle de l'inclinaison de cette orbite. L'inclinaison est nulle sur la ligne de l'équateur magnétique ; alors elle est perpendiculaire à la ligne des pôles magnétiques. La position réelle des pôles et de l'équateur magnétiques, n'est pas encore exactement déterminée, comme on l'a vu (note 1). Les belles expériences de M. *Arago*, en même temps qu'elles confirment la nouvelle théorie, ont indiqué les moyens d'aimanter les corps sans le secours d'aucun aimant : il suffit pour cela de les entourer d'un fil disposé en hélice dans lequel on établit des courans électriques, soit en la faisant communiquer aux deux pôles de la pile, soit par des décharges successives d'une batterie électrique : par ce procédé, on produit à volonté des *points conséquens*, en contournant le fil tantôt dans un sens, tantôt dans un autre : on appelle ainsi les points où les deux pôles se réunissent et dans lesquels une aiguille d'épreuve est plusieurs fois attirée et repoussée. Ce même physicien a aussi montré que le fil conducteur des courans, attire la limaille de fer, d'acier, de nickel, de cobalt, corps auxquels on a reconnu la propriété magnétique, mais n'attire pas les autres corps légers, ce qui est exactement la propriété de l'aimant. Il résulte de ce que nous venons d'exposer, que l'aimant, tous les corps magnétiques et le globe lui-même doivent être considérés comme des corps où règnent des courans électriques : en vertu de la décomposition de ce fluide, il s'établit des courans autour de chacune des molécules constituantes, lesquelles ont lieu tantôt régulièrement, tantôt irrégulièrement. Dans les corps où ils ont

lieu irrégulièrement, et ce sont les corps électrisés ordinaires, il pourra y avoir des phénomènes d'accumulation et décharge du fluide : dans ceux où les courans s'établissent d'une manière uniforme, et ce sont les corps magnétiques, les phénomènes que nous venons d'exposer, auront lieu : l'action de ces corps est la résultante de toutes les actions particulières des molécules, ce que M. *Ampère* a prouvé par le calcul devoir nécessairement exister dans cette supposition. Nous ne pouvons analyser ici les belles recherches de ce physicien dont le nom s'attache si honorablement à cette belle partie de la physique. Nous observerons que les courans électriques produisent sur différens corps un grand nombre d'effets particuliers, à l'étude desquels se livrent les physiciens actuels. Pour ne citer que quelques-uns des exemples les plus saillans, nous dirons que M. *Davy* a reconnu non-seulement que les liquides traversés par des courans prennent différens mouvemens de rotation, mais encore qu'au-dessus de chaque fil conducteur, ils forment un cône proéminent duquel partent des vagues, tandis que si on en approche un aimant, les cônes se changent en entonnoir et le liquide prend un mouvement rapide de rotation (*Phil. Trans. act.*, 1823 et le *Bulletin des Scienc. Phy.* de M. *Férussac*, n.° 3, mars 1824). D'un autre côté, M. *Becquerel* vient de constater, au moyen d'un système de galvanomètres très-sensibles, qui est de son invention, que des effets et des courans électriques, se manifestent dans les phénomènes capillaires, dans toutes les dissolutions, etc. (*Mém. de* M. *Becquerel*, *Ann. de Phys. et de Chim.* de MM. *Arago* et *Gay-Lussac*). On trouvera dans *les Annales de la Société Linnéenne* de Paris, pour les années 1824 et 1825, plusieurs mémoires de M. *C. Bailly*, dans lesquels il a essayé d'appliquer à la végétation les nouvelles théories de la lumière, de la chaleur et de l'électricité. Ce qui reste encore à faire pour les phénomènes magnétiques, dépend désormais du perfectionnement de l'analyse mathématique, et de l'application de la chimie à la détermination des forces coercitives par lesquelles lès principes magnétiques sont retenus dans les particules des corps. On a vu que dans l'état où la théorie de l'électricité est amenée aujourd'hui, et dont on doit tout entier l'honneur aux beaux travaux analytiques de M. *Poisson*, cette théorie même par la fidélité avec laquelle toutes les expériences s'y conforment, offre la probabilité la plus forte que les principes électriques sont réellement des fluides constitués comme elle les définit. Des travaux analogues ont été faits par M. *Fourier* sur la chaleur, et par M. *Ampère* sur l'électro-dynamique. »

HUITIEME SECTION.

DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE XXXIX.

De la lumière en général, et particulièrement des phénomènes qui dépendent de son mouvement en ligne droite; ou premiers principes d'Optique.

INTRODUCTION.

§ 1. Le sens du toucher nous fait connaître les diverses propriétés des corps de la manière la plus sûre; mais celui de la vue s'exerce sur beaucoup plus d'objets. Nous n'aurions que bien peu d'idées, si les facultés de notre esprit n'atteignaient qu'à la distance où notre main peut saisir les corps : le sens de la vue élève ces facultés hors des limites de la demeure où nous sommes fixés, et les fait pénétrer jusque dans les espaces immenses de la création. Aussi, est-ce un des triomphes de l'esprit humain, d'être parvenu, à force d'art, à étendre encore le pouvoir de ce sens beaucoup au-delà des bornes que la nature semblait lui marquer. Et, puisque l'œil nous fournit les moyens de connaître presque tout ce qui existe, cette considération ne doit-elle pas engager puissamment les hommes qui réfléchissent, à s'instruire avec exactitude des lois d'après lesquelles s'opèrent les phénomènes de la vision?

§ 2. Dans un sens fort étendu, on donne le nom d'*Optique* à toute la théorie de la lumière; et, dans un sens plus resserré, cette dénomination ne s'applique qu'aux objets dont on traite dans ce chapitre et dans le suivant. Toute l'Optique, en laissant à ce terme

sa généralité, est une des parties les plus avancées de la Physique : son histoire est très-importante pour le physicien philosophe; car elle montre clairement quel chemin on doit suivre pour parvenir à perfectionner une science. Toutes les hypothèses sur la nature de la lumière, quoique imaginées par les têtes profondement pensantes de *Descartes*, de *Newton* et d'*Euler*, n'ont été d'aucun secours pour l'avancement de la science; et les expériences de *Newton*, de *Dollond* et de quelques autres, ont conduit à une explication exacte de tous les phénomènes de l'Optique.

§ 3. Il doit y avoir entre notre œil et l'objet que nous voyons, une matière quelconque qui rend possible l'action d'un objet éloigné sur notre vue : nous ignorons quelle est cette matière, et nous devons même ne la jamais connaître, puisque nous ne l'apercevons pas elle-même, mais seulement les objets qui deviennent visibles par son influence. Au reste, il doit nous être indifférent que cette matière, suivant l'opinion de quelques anciens, émane de l'œil; ou que, suivant celle de *Newton*, elle vienne des objets que l'on voit; ou encore, d'après le système de *Descartes* et d'*Euler*, qu'elle soit un fluide excessivement ténu, dont les mouvemens opèrent les phénomènes de la vision de la même manière que les vibrations de l'air produisent l'audition. Il est peu important que l'une de ces hypothèses soit exacte, ou qu'aucune d'elles n'ait cet avantage, pourvu que nous connaissions les lois des phénomènes de la vision; et quant à ces lois, on est parvenu à les développer presque aussi complètement que celles de la pesanteur (*).

(*) Ainsi que le remarque M. *Fresnel*, une hypothèse peut contribuer puissamment à l'avancement de la science, en expliquant d'avance les phénomènes et en dirigeant les expériences vers un certain but. Le système de l'émission semblerait se prêter avec plus de simplicité aux explications de la production et de la propagation de la chaleur, si l'identité de la lumière et du calorique n'avait soutenu celui des ondulations ou des vibrations, imaginée par *Descartes*, perfectionnée par *Huyghens* et *Euler*, et remis en honneur, dans ces derniers temps, par les travaux de M. *Th. Young*, *Arago* et *Fresnel* qui, surtout pour la lumière, lui ont donné le plus haut degré de probabilité. Cette hypothèse seule embrasse les phénomènes dans toute leur généralité, les prévoit et les calcule ; seule, elle peut expliquer cet effet singulier d'une double lumière produisant l'obscurité, effet qui est une conséquence toute naturelle de la théorie des ondu-

§ 4. Nous nommons *lumière*, la cause inconnue de la visibilité : nous pouvons empêcher les effets qu'elle produit, mais non pas leurs causes. La lumière se produit d'une infinité de manières, par exemple, par-tout où l'acier peut seulement se frotter contre le silex ou la pierre à feu : sous l'eau même, l'acier donne des étincelles. La lumière électrique est visible dans l'eau; et l'acier embrasé dans l'oxigène, continue de paraître rouge sous l'eau. La lumière doit donc être une matière qu'on ne peut empêcher de pénétrer dans tous les corps, et qui peut être traversée par tous : elle doit être d'une nature tout-à-fait différente de celle des substances perceptibles, puisqu'elle a une tout autre mécanique, et une tout autre statique. En effet, nous ne pourrons employer dans l'Optique, qui est la vraie Mécanique de la lumière, aucune des lois du mouvement développées dans les sections précédentes (1) : nous ne trouverons nulle part aucun

---

lations, et qu'on ne sait comment expliquer dans celle des émanations ou de l'émission qui, jusqu'à ces derniers temps, a été universellement adoptée dans les écoles, parce qu'elle était la seule enseignée dans les ouvrages. A la vérité, la théorie chimique de la combinaison du calorique avec les corps, est modifiée dans ce système, puisque ce n'est plus l'accumulation, mais seulement les mouvemens d'un fluide inpondérable, qui produisent les phénomènes de la chaleur : mais indépendamment des objections puissantes élevées contre le calorique combiné, par les expériences de MM. *Dulong* et *Petit*, la lumière et la chaleur que nous voyons se transformer l'une dans l'autre, sont réunies par un lien indissoluble qui doit les ranger sous une même hypothèse et sous celle qui résout le mieux toutes les difficultés de la théorie de la lumière.

(1) L'auteur me paraît ici s'avancer beaucoup trop. Si l'on veut considérer la lumière dans ses effets seulement, sans y rien mêler d'hypothétique sur sa nature, on ne peut pas se proposer de soumettre ses mouvemens à un calcul mathématique : mais si on la considère comme formée de molécules matérielles douées d'un mouvement rectiligne très-rapide, et susceptibles d'être attirées par les corps, alors ces mouvemens sont soumis aux lois de la Mécanique ordinaire ; et c'est ainsi que *Newton* est parvenu à déduire, par le calcul, les lois de la réfraction. Toutefois, cette constitution de la lumière ne doit être envisagée que comme une hypothèse à laquelle jusqu'ici on a pu plier le plus grand nombre de faits ; car, en réalité, rien ne nous assure que la lumière soit composée de particules matérielles émises, et beaucoup d'analogies tendraient à la représenter comme le seul effet de vibrations transmises, à la manière du son, dans un milieu très-élastique.

indice de pesanteur, d'impénétrabilité, d'effet par choc, etc. Si l'on peut espérer quelque connaissance plus précise sur la nature de cette matière, il faut l'attendre de la Chimie; car la lumière possède incontestablement des propriétés chimiques très-remarquables : presque par-tout elle se trouve jointe avec la chaleur qui est l'agent chimique le plus important de la nature : ses effets ne se manifestent pas seulement dans les phénomènes variés de la combustion, mais encore dans la plupart des expériences électrico-chimiques. Le chimiste observe aussi dans les propriétés naturelles de certaines substances, plusieurs changemens qui ne se peuvent opérer que par l'action de la lumière. — Enfin, personne ne peut méconnaître l'influence grande et bienfaisante de la lumière sur les corps organisés; mais les lois de son action chimique, sont aussi obscures que celles de ses mouvemens sont simples et faciles à saisir.

Mécanique de la lumière directe.

§ 5. Le soleil, la flamme et tous les corps embrasés (*), répandent de la lumière autour d'eux : on dit que de tels corps sont *lumineux par eux-mêmes*. D'autres corps rendent l'effet qu'ils ont reçu des premiers, et l'on dit de ceux-ci qu'ils sont *éclairés*. Les effets de la lumière pénètrent à travers tous les gaz, la plupart des liquides, particulièrement l'eau, et beaucoup de corps solides parmi lesquels on doit sur-tout distinguer le verre. De semblables corps prennent le nom de *transparens ;* d'autres retiennent la lumière, et s'appellent corps *opaques*.

§ 6. La première loi des mouvemens de la lumière, est la suivante : Dans un milieu transparent et de propriétés matérielles homogènes, la transmission de la lumière se fait en ligne droite.

Il n'est besoin d'aucune expérience particulière pour démontrer cette loi : sa preuve la plus évidente se trouve dans l'observation suivante que nous pouvons répéter à chaque fois que nous regardons. Il nous est impossible de voir immédiatement un corps, s'il se trouve

---

(*) On observe comme lois générales 1.° que tous les corps connus commencent à être lumineux, aussitôt qu'on élève leur température au-dessus de 500° centigrades; 2.° qu'à égalité de température, les corps solides produisent beaucoup plus de lumière que les corps gazeux.

un corps opaque dans la ligne droite que l'on peut mener de lui à notre œil; de plus, on reconnaît que la lumière se dirige en ligne droite, lorsque dans une chambre dont les volets fermés ne laissent que peu de passage au jour, on observe la direction des grains de poussière éclairés qui voltigent dans l'air (*).

§ 7. Cette loi représente parfaitement les effet de la lumière directe, et ramène l'Optique entière aux principes de la Géométrie. Une ligne droite considérée comme le chemin que suit l'effet de la lumière, se nomme un *rayon*.

§ 8. De chaque point d'un corps lumineux par lui-même, les rayons se dispersent vers tous les côtés où l'on peut tirer des lignes droites dans le milieu transparent; et chaque rayon de lumière suit son chemin en ligne droite, jusqu'à ce qu'il arrive à un milieu de propriétés matérielles différentes : alors l'effet change suivant la nature du corps dans lequel pénètre le rayon.

(*) Il est nécessaire d'exposer ici l'idée qu'on se fait dans le système de l'émission, 1.° du *rayonnement* de la lumière, 2.° de sa *direction*, 3.° de sa *vitesse*, 4.° de son *intensité*. 1.° On suppose que la lumière est formée de particules infiniment petites lancées de tous les points de la surface des corps lumineux; d'où il resulte que le corps lumineux ayant une certaine étendue, les molécules lancées de sa surface doivent se croiser dans tous les sens. 2.° On admet que les molécules envoyées de la surface d'un corps lumineux, commencent dès-lors à se mouvoir dans l'espace avec une grande vitesse et toujours en ligne droite; que ces molécules se trouvent dans leur route, situées à de grandes distances les unes des autres, relativement à leur volume, ce qui permet de concevoir comment une multitude de ces filets de molécules, peuvent passer à la fois dans la plus petite ouverture, sans s'arrêter ou se gêner réciproquement. 3.° La prodigieuse vitesse de la lumière (§ 15) peut donner une idée de la masse des molécules qui la composent. En effet, la quantité de mouvement d'un corps, étant le produit de sa masse par sa vitesse (*pag.* 19), si l'on supposait aux molécules de la lumière, la plus petite masse calculable, sa quantité de mouvement serait assez considérable pour affecter la membrane rétine, le plus délicat et le plus sensible de nos organes (Chap. XI, vision) : il faut donc que chacune de ces particules ait une masse infiniment petite. 4.° La proposition que la diminution d'intensité de la lumière, a lieu en raison directe du carré des distances (§ 17), est une conséquence géométrique du fait même du rayonnement. Il est très-difficile d'apprécier les facultés illuminantes de différentes lumières; cependant nous verrons qu'on y parvient par la comparaison des ombres.

§ 9. Si le rayon de lumière entre dans un milieu transparent plus rare ou plus dense, ou dont les propriétés matérielles sont différentes, il éprouve une *réfraction*; c'est-à-dire, il est plus ou moins détourné de son chemin en ligne droite. La *Dioptrique* développe les lois de ces phénomènes.

Si le rayon arrive sur la surface polie d'un corps opaque, il est *réfléchi* dans une direction déterminée : la *Catoptrique* examine les lois de cette *réflexion*.

Si un rayon passe très-près d'un corps, il subit une faible *inflexion* (*) dont les lois ne sont pas encore parfaitement connues, mais qui paraît ne pas avoir une influence fort importante sur les phénomènes de la vision. Par cette raison, il suffira d'avoir seulement mentionné ici ce phénomène.

Enfin si la lumière tombe sur un corps opaque et non poli, il se fait en elle des changemens que nous devons examiner ici avec attention.

§ 10. Dans ce cas, le corps est *éclairé*, c'est-à-dire que tous ses points deviennent lumineux, parce qu'il réfléchit la lumière qu'il reçoit, vers tous les points où l'on peut mener une ligne droite à travers le milieu transparent (1).

§ 11. On conçoit qu'il résulte toujours de cette dispersion de lumière un affaiblissement considérable, puisque chaque rayon est pour ainsi dire subdivisé en un nombre infini de rayons. Aussi l'impression de cette lumière disséminée est-elle moins forte, sans comparaison, que la lumière éblouissante des corps lumineux par eux-mêmes.

§ 12. Mais, indépendamment de cette dissémination, la lumière

---

(*) Les partisans de l'émission, disent que les rayons lumineux qui passent le plus près possible des bords du corps, en sont attirés, déviés dans leur marche, et portés vers le centre de l'ombre, ce qui en diminue l'intensité; que d'autres rayons moins voisins ne reçoivent aucune influence; enfin que des rayons un peu plus éloignés éprouvent une répulsion : cette explication n'est pas satisfaisante, attendu que la nature du corps opaque n'influe en rien sur le phénomène, ce qui devrait arriver s'il était dû à l'attraction. Le système des ondulations explique mieux ces circonstances.

(1) On trouvera quelques détails sur ce sujet, dans les additions placées à la fin de l'Optique.

se trouve encore affaiblie par une autre cause. Il arrive presque toujours des changemens remarquables dans la lumière, par le contact des corps. Il y a quelques corps qui renvoient toute ou presque toute la lumière qu'ils reçoivent : ceux-ci paraissent parfaitement blancs; d'autres n'en renvoient que peu, ou même point du tout; ce sont les corps parfaitement noirs. Dans tous les autres, la lumière subit un changement particulier qu'on peut considérer comme une modification chimique de la matière lumineuse. La lumière dispersée fait sur l'œil une impression toute différente de celle de la lumière primitive : nous nommons cette impression *couleur*. La lumière primitive s'affaiblit toujours lorsqu'elle est ainsi modifiée : cet effet est moins considérable pour les couleurs vives et claires, que pour les couleurs obscures. Nous examinerons avec plus d'exactitude les phénomènes des couleurs, dans un chapitre particulier de la Dioptrique : cependant nous pouvons déjà remarquer ici que la couleur n'appartient pas aux corps, mais que c'est la lumière réfléchie qui est elle-même bleue, verte, rouge, etc., puisque les sensations des diverses couleurs, ne peuvent être apportées dans l'œil qu'au moyen de cette lumière.

§ 13. Une expérience connue prouve, sans replique, que la lumière qui vient d'un corps coloré, a elle-même une couleur. Lorsque, dans une chambre sombre, la lumière de quelques objets éclairés, vient, en passant par une ouverture quelconque, se peindre sur un mur blanc opposé à cette ouverture, les objets y sont représentés renversés et d'une manière assez indécise, mais cependant avec leurs couleurs naturelles : ce phénomène s'explique aisément par le mouvement rectiligne et les couleurs de la lumière. Qu'on se figure un objet, par exemple, un grand bâton droit et peint de diverses couleurs, placé à quelque distance devant une chambre très-sombre et où la lumière ne pénètre que par une seule ouverture fort petite, et qui serait, par exemple, triangulaire; supposons encore le bâton placé de manière que la lumière qui en émane, parvienne dans la chambre par cette ouverture, et qu'un mur blanc parfaitement uni se trouve dans la chambre en face de la fenêtre, de manière que la lumière qui passe par l'ouverture, vienne s'y peindre: si l'on observe d'abord la lumière qui vient du haut du bâton, et que nous supposons rouge, on remarque que cette lumière a la forme d'une pyramide triangulaire

dont le point le plus brillant est placé à la pointe, et dont les côtés et les angles sont déterminés par la forme de l'ouverture : la lumière de cette pyramide frappera la paroi blanche vers le bas, et éclairera un petit espace de forme triangulaire comme l'ouverture : cet espace éclairé est l'image indéterminée de la pointe du bâton; et puisque cette image est rouge, il faut nécessairement que la lumière qui la produit, soit rouge aussi. Si nous supposons que la partie inférieure du bâton, est bleue, elle produira vers le haut de la muraille, une semblable image triangulaire bleue, et un peu confuse. Il en est de même de tous les points du bâton; d'où l'on conçoit qu'il doit se faire sur la paroi une image renversée du bâton entier, laquelle n'est pas composée de points lumineux, mais de petits triangles de lumière. Si l'ouverture était quadrangulaire, l'image serait formée de petits carrés lumineux; si elle était ronde, de petits cercles, etc. : l'image sera d'autant plus indécise, que l'ouverture sera plus grande, l'objet plus près, et la paroi qui reçoit l'image, plus éloignée.

Quand le soleil paraît à travers un feuillage épais, et qu'on reçoit l'image de sa lumière sur un plan perpendiculaire à la direction de ses rayons, les places éclairées sont toutes circulaires, mais non pas arrêtées avec précision. Ce sont aussi des images indéterminées du soleil qui se forment de la même manière.

§ 14. Cette seule observation, que la lumière colorée est beaucoup plus faible que la lumière blanche, porterait à penser que la lumière blanche du soleil est un mélange de diverses lumières colorées, et que la surface de chaque corps ne réfléchit que quelques-uns de ses principes constituans, c'est-à-dire, seulement quelques-unes de ses couleurs, tandis qu'elle en absorbe d'autres et les rend sans effet. Cette opinion sera entièrement confirmée par la théorie des couleurs dioptriques (chap. XLIV).

C'est un fait connu, que certains corps absorbent la lumière blanche, et la renvoient ensuite dans l'obscurité.

Quant aux mouvemens directs de la lumière colorée, ils sont soumis aux mêmes lois que ceux de la lumière blanche.

§ 15. *Kepler* croyait que la transmission de la lumière est instantanée, c'est-à-dire, que sa vitesse est trop grande pour pouvoir être mesurée. Néanmoins, dans la suite, les astronomes ont réellement mesuré cette vitesse, puisqu'ils ont observé que les occultations des

satellites de Jupiter, sont visibles d'autant plus tard, que cette planète est plus éloignée de nous. D'après cette donnée, ils ont calculé que la lumière parcourt en 15 minutes ou 900″, le diamètre de l'orbite de la terre, c'est-à-dire, un espace équivalent à 47416 fois le rayon de la terre, et que, selon le jugement que nous en pouvons porter, ce mouvement est parfaitement uniforme. La lumière parcourt donc, en une seconde, un espace de 52,68444... rayons de la terre; ou, si l'on admet que le rayon de la terre soit équivalent à 3275790 toises de Paris, cet espace sera de 172583176,2 toises, ou de 1035499057,2 pieds de Paris.

§ 16. Il est difficile de déterminer si l'intensité d'un même rayon lumineux, décroît ou reste constante lorsqu'il passe à travers un espace vide ou un milieu absolument transparent: cependant la forte intensité de la lumière des étoiles fixes, par rapport à leur immense éloignement, rend la dernière opinion plus vraisemblable (1), et démontre du moins incontestablement que, dans les distances plus petites que parcourt la lumière, il ne peut y avoir aucun affaiblissement sensible de son intensité.

§ 17. Mais la lumière qui vient d'un corps, perd de sa force en se répandant, puisqu'elle est dispersée dans un espace d'autant plus étendu qu'elle avance davantage. Au moyen de quelques propositions géométriques connues, on démontre que *l'intensité de la lumière est réciproque au carré de la distance*, supposé que cette force ne soit affaiblie par aucune autre cause que par la dispersion et l'écartement des rayons. C'est là le principal théorème relatif à la théorie de l'évaluation de l'intensité de la lumière (2).

---

(1) Selon ce que disent les astronomes, la lumière, malgré sa prodigieuse vitesse, emploie au moins trois ans pour parvenir de l'étoile la plus voisine jusqu'à nous ; et cet éloignement inconcevable n'indique pas encore la véritable distance de l'astre, mais il montre seulement une limite au-dedans de laquelle il ne peut y avoir d'étoiles fixes.

(2) Soit A (*fig.* 68) un point rayonnant, et qu'on se représente à la distance AB une étendue géométrique BCD d'une forme arbitraire, et dont le plan soit perpendiculaire sur AB. On conçoit ainsi facilement que la lumière tombant de A sur BCD, doit avoir la forme d'une pyramide dont la pointe est A, et dont la base est BCD : qu'on prolonge cette pyramide indéfiniment, et qu'on la coupe à

§ 18. Mais, indépendamment de la distance, l'éclat de la lumière est encore modifié par diverses circonstances, entre autres par les suivantes: 1.° par l'intensité de lumière du corps éclairant; 2.° par sa grandeur et sa position; 3.° par la situation du plan qui reçoit la lumière; 4.° par les propriétés du milieu à travers lequel la lumière passe.

On doit bien distinguer l'intensité d'*éclairement*, de l'intensité *de la lumière;* car la première dépend, comme il résulte de ce qui a été dit à l'art. 12, pag. 304, de la capacité pour la lumière que possède le corps éclairé, et de la quantité qu'il en absorbe.

§ 19. Tant que l'intensité de la lumière est sensible pour nos yeux, on la nomme *clarté*. Dans la construction des instrumens d'Optique, ceci est un objet particulier de recherches, parce qu'il ne faut pas seulement connaître quelle est l'intensité de la lumière hors de l'œil, mais encore sur quel espace la lumière est distribuée dans l'œil par la réfraction des verres.

§ 20. L'absence totale de la lumière, se nomme *obscurité*. Dans un espace éclairé, on appelle *ombres* les places où la lumière du corps lumineux ne peut parvenir directement, parce qu'elle est interceptée par quelques corps opaques. Derrière chaque corps opaque, il se trouve

---

une distance arbitraire AE, par un plan EFG, parallèle à BCD. Maintenant, si la lumière venant de A, passe par ces deux plans BCD et EFG, il est clair qu'il y aura autant de lumière dans l'un que dans l'autre: mais BCD est plus petit que EFG; par conséquent la lumière y sera plus dense, proportionnellement aux rapports des grandeurs de EFG et BCD. Nommons L l'intensité de la lumière en BCD, l celle de la lumière en EFG: on aura: $L : l = EFG : BCD$. Or, EFG et BCD sont des figures semblables, puisque ce sont des coupes parallèles d'une pyramide; elles sont, par conséquent, comme les carrés des deux côtés homologues: ainsi nous avons $L : l = \overline{EF}^2 : \overline{BC}^2$; mais AEF et ABC sont aussi des triangles semblables, puisque les lignes BC et EF sont parallèles; nous avons donc $EF : BC = AE : AB$; et par conséquent enfin, $L : l = \overline{AE}^2 : \overline{AB}^2 = \frac{1}{\overline{AB}^2} : \frac{1}{\overline{AF}^2}$.

S'il se trouve en A plusieurs points lumineux, la lumière de chacun d'eux doit décroître d'après cette loi: ainsi le point A étant non plus un simple point lumineux, mais un corps de forme et de grandeur arbitraires, la loi démontrée sera encore applicable, pourvu que l'on évalue séparément la distance de chacun des points du corps.

toujours un espace sur lequel la lumière du corps éclairant ne peut frapper immédiatement, de manière qu'un œil qui y serait placé, ne pourrait pas l'apercevoir : on nomme cet espace, *ombre parfaite.* Mais si le corps lumineux ne consiste pas seulement en un seul point brillant comme les étoiles fixes, et qu'il ait, ainsi que le soleil, la lune et toutes les flammes, une grandeur apparente sensible, il se trouvera encore, derrière le corps opaque éclairé, un espace qui ne recevra pas toute la lumière, mais seulement une partie : un œil qui y serait placé, verrait une partie plus ou moins grande du corps lumineux : on nomme cet espace la *pénombre.* On conçoit facilement que les dégradations de l'ombre parfaite jusqu'à l'espace entièrement éclairé, se succèdent de manière que l'œil qui observe la forme de l'ombre sur une surface, ne peut apercevoir de limite bien terminée. Au reste, comme l'ombre dépend simplement de la forme du corps éclairant, de celle du corps éclairé, et du mouvement rectiligne de la lumière, cette théorie est susceptible d'une démonstration rigoureusement mathématique; c'est-à-dire, qu'on peut déterminer géométriquement, pour chaque cas, la forme de l'ombre parfaite et de la pénombre, ainsi que l'intensité de la lumière dans chaque point de cette dernière. Vulgairement, on entend par le mot *ombre,* la configuration de l'espace ombré, qui devient visible sur un second corps opaque placé derrière le premier (*).

(*) Si le corps lumineux est un point L (*fig.* 69) et qu'on lui présente un corps opaque sphérique AB, un peu moins de la moitié de cette sphère, sera éclairée, le reste sera dans l'ombre ; cette ombre s'étendra indéfiniment sous la forme d'un cône tronqué ABCD dont la petite base sera représentée par AB et l'autre base CD sera variable à raison de la position de son plan. Si le corps lumineux a un certain diamètre, et qu'on lui oppose (*fig.* 70), un corps sphérique opaque plus petit, un peu plus de la moitié de cette sphère sera éclairée, l'autre sera dans l'ombre, et cette ombre se prolongera derrière le corps opaque en un cône dont AB sera la base et dont le sommet C sera à une distance qui dépendra de l'écartement et des rapports de volume des deux corps. Si l'ombre d'un corps est projetée sur un plan DE (*fig.* 70), elle y tracera une image distincte par l'absence de lumière, image qui affectera des formes très-variées suivant la situation et la direction du plan. Il n'existe pas d'ombre absolue ; car l'espace qu'occupe l'ombre déterminée par un corps lumineux quelconque, se trouve habituellement pénétrée par des rayon de lumière

§ 21. Plusieurs physiciens ont cherché à donner une théorie parfaitement mathématique pour l'évaluation de l'intensité de la lumière : c'est ce qu'on a coutume de nommer *Photométrie:* cependant *Karsten* emploie ce mot dans un sens plus étendu. *Bouguer*, parmi les Français, et *Lambert*, parmi les Allemands, se sont particulièrement occupés de cet objet; et le dernier a donné un estimable ouvrage latin, intitulé : *Photometria sive de mensura et gradibus colorum et umbræ*, qui est fait avec toute la sagacité qui distingue son auteur. Cette théorie a ses difficultés, puisque l'intensité de la lumière dépend beaucoup des propriétés naturelles des corps lumineux et des corps éclairés, et que ces propriétés ne sont susceptibles d'aucune évaluation mathématique : l'application de cette théorie est fort restreinte par la raison que les petites différences d'intensité de la lumière, ne sont pas appréciables pour notre œil. Cependant *Bouguer*, *Lambert* et plusieurs autres ont donné plusieurs instrumens qu'on nomme *photomètres*,

---

qui proviennent en plus ou moins grande quantité des corps environnans : aussi remarque-t-on que l'ombre est plus ou moins colorée et que son intensité est toujours proportionnelle à celle de la lumière, puisqu'elle résulte, pour notre œil, de la comparaison des points éclairés avec ceux qui ne le sont pas. Cette propriété a fourni le moyen de mesurer l'intensité comparative de deux lumières : car on peut toujours projeter sur un plan, l'une à côté de l'autre, deux ombres produites par deux lumières différentes et également distantes de ce plan, et si elles paraissent également noires, on peut conclure que les deux lumières sont égales en intensité. On peut toujours parvenir à rendre les ombres égales, en éloignant ou rapprochant l'une des lumières; si on éleve alors les distances au carré, le rapport de ces carrés sera celui de l'intensité des lumières. Considérons les points diamétralement opposés L et L' d'un corps lumineux d'un certain volume (*fig.* 71); le point L forme un cône LOP' et une ombre OP'; le point L' formera un cône L'O'P et l'ombre O'P : dans l'espace OO' les deux ombres se superposeront, c'est-àdire, qu'il y aura un cercle très-noir dont OO' sera le diamètre et autour de ce cercle un anneau plus faiblement ombré qui porte le nom de *Pénombre*, et qui n'existerait pas si le corps était éclairé par un seul point lumineux. Si l'on expose une boule noire aux rayons du soleil, et qu'elle projette son ombre sur un plan, on verra que le centre de cette ombre est moins noire que sa circonférence; et qu'au-delà de la pénombre il existe un cercle plus éclairé que le reste du plan. Si, du reste, on regarde la boule noire, de manière à ce qu'elle couvre entièrement le disque du soleil, elle semblera environnée d'une auréole lumineuse.

dont la destination est de mesurer l'intensité de la lumière dans des circonstances données. *Leslie* et le comte de *Rumfort* ont proposé nouvellement des instrumens de cette espèce, fort commodes. (*Voyez* le nouveau Journal de Physique de *Gren*, vol. II, pag. 15.)

§ 22. Pour terminer ce chapitre, nous devons encore parler des rapports qui existent entre la lumière et la chaleur. La lumière solaire et le feu terrestre montrent ces deux substances combinées ensemble. Dans d'autres circonstances, la lumière paraît sans chaleur, ou plus souvent encore la chaleur sans lumière. Plus on étudie les effets qu'elles produisent, plus on est porté à les reconnaître pour deux substances entièrement distinctes.

CHAPITRE XL.

De la Vision.

§ 1. Quoiqu'une théorie complète de la vision ne suppose pas seulement la Dioptrique, mais aussi des connaissances anatomiques, nous pouvons cependant décrire ici historiquement et d'une manière claire, ce qui arrive dans l'œil lors du phénomène de la vision.

L'œil lui-même est un globe pourvu de diverses enveloppes et placé dans une cavité qu'on appelle son *orbite*, et où il peut se mouvoir aisément en toutes directions, au moyen de quelques muscles. L'enveloppe ou la *tunique* extérieure de l'œil, est composée d'une substance blanche, opaque et cornée A B C D, (*fig.* 72) : elle s'appelle *cornée opaque* : seulement sur le devant, entre A et D, où elle s'élève en forme plus courbée, et où elle est parfaitement diaphane, elle prend le nom de *cornée transparente*. Sous la cornée opaque, on trouve la *membrane choroïde* qui est composée d'une matière de couleur obscure, et sous celle-ci est appliquée la *rétine* qui est une membrane blanche, mince et presque visqueuse, que la plupart des anatomistes considèrent comme le siège propre de la sensation de la lumière : cette membrane est formée par la continuation de la partie médullaire du nerf optique, lequel vient du cerveau et passe dans l'œil en B, C. Der-

rière la cornée transparente A D, la choroïde se détache et se divise en deux parties dont l'une s'arrondit comme un anneau, et forme cette ouverture ronde qu'on appelle la *pupille* ou la *prunelle* : la membrane qui forme cet anneau, a reçu le nom d'*iris* à cause de la variéte de ses couleurs : elle consiste en un tissu fort délicat de fibres contractiles qui rétrécissent la prunelle, lorsque l'œil est frappé par une lumière forte, et qui reviennent à leur premier état quand la lumière est faible. Ces opérations se font indépendamment de notre volonté, et même sans que nous nous en apercevions.

Derrière l'iris, est un corps EF assez consistant, transparent et lenticulaire, qui partage l'intérieur de l'œil en deux espaces inégaux, que l'on nomme les *chambres antérieure* et *postérieure* : ce corps s'appelle le *cristallin*. La chambre antérieure contient l'*humeur aqueuse* dont le nom exprime la nature ; la chambre postérieure est remplie d'une matière transparente et comme gélatineuse ; c'est ce qu'on appelle l'*humeur vitrée*.

Une ligne CB qui passe à travers la pupille et perpendiculairement aux deux faces du cristallin, se nomme l'*axe de l'œil*. Dans un œil bien conformé, cet axe est dirigé sur l'objet qu'on regarde, de sorte que c'est au point B que se produit la sensation la plus forte de la vue (*).

§ 2. La vision a lieu, parce que sur le fond de l'œil il se peint, pour ainsi dire, une petite image renversée, mais très-précise, de

---

(*) Le globe de l'œil doit sa forme et sa solidité à une membrane extérieure et dense que l'on nomme *sclérotique* : cette membrane est percée au devant d'une ouverture circulaire d'environ cinq lignes de diamètre, laquelle présente une rainure interne dans laquelle se trouve enchassée, à la manière d'un verre de montre, une membrane très-dense et très-solide, mais qui laisse traverser la lumière et qu'on nomme *cornée transparente* : cette cornée, l'humeur aqueuse et le cristallin forment comme une *lentille composée* dont les différentes parties ont, sans doute, des propriétés refringentes diverses, puisqu'elles produisent un achromatisme naturel, les images qu'elles donnent, étant dépourvues de colorations. La cavité générale de l'œil sera une chambre obscure que la *choroïde* tapisse en noir : *l'iris* représente un diaphragme destiné à limiter plus ou moins le champ de la lentille, pour éviter les effets d'aberration de sphéricité, et ne laisse pénétrer dans l'œil que la quantité de lumière nécessaire pour y peindre l'objet, sans blesser la rétine qui joue le rôle de *spectre* sur lequel les images viennent se peindre.

l'objet vers lequel l'œil est dirigé. Soit HI, (*fig.* 72), un objet que regarde l'œil : chacun de ses points qui sera ou lumineux ou éclairé, enverra des rayons en toutes directions. Nous choisissons le point G pour exemple : une petite partie de ses rayons pénètre par la pupille dans l'intérieur de l'œil, en formant un cône qui est indiqué par trois lignes dans la figure : le rayon du milieu de ce cône lumineux, traverse l'œil sans dévier de sa direction, et va marquer sur la rétine le point qui doit représenter *g*G, les autres rayons qui l'environnent, sont réfractés, mais de manière qu'ils se réunissent tous au même point *g*. Maintenant, si G était coloré en bleu, par exemple, *g* ne recevrait que de la lumière bleue, et serait lui-même coloré ainsi ; ce serait donc une image du point G. La même chose a lieu pour tous les rayons qui viennent d'un point quelconque de l'objet, par exemple, de H ou de I. En menant ainsi, de chaque point lumineux, une ligne droite, à-peu-près par le milieu du cristallin, on peut trouver la place où ce point est représenté sur la rétine. Ainsi H se peint en *h*, et I en *i*; et l'on voit que de cette manière il doit se produire dans l'œil une petite image renversée de l'objet.

§ 3. Tout ce qui peut être demandé de l'Optique, pour l'explication de ce phénomène, se déduira parfaitement des principes de la réfraction; mais il reste encore à l'Anatomie et à la Physiologie quelques questions importantes à résoudre ; telles sont les suivantes :

L'expérience apprend que nous ne voyons bien distinctement ni les objets trop rapprochés, ni les objets trop éloignés, et qu'il se trouve, pour tous les yeux, une certaine distance où l'on voit les objets de la manière la plus précise. Cela est entièrement conforme aux lois de la Dioptrique; car on peut démontrer par les principes de la réfraction, que les rayons d'un point trop rapproché, ne se réuniraient pas justement sur la rétine, mais un peu derrière; les rayons d'un objet éloigné, au contraire, auraient leur point de jonction un peu en avant de la rétine : et, dans les deux cas, il ne peut se produire une image bien terminée. Mais nous savons, par notre expérience, que dans l'œil, la nature a remédié à ce défaut jusqu'à un certain point. En quoi consiste le moyen qu'elle a employé? c'est ce que l'Anatomie n'a pas encore découvert. Quelques-uns croient que le cristallin est susceptible de se mouvoir un peu en avant ou un peu en arrière ; mais

il est plus vraisemblable que la courbure de sa surface peut prendre de légères variations (1).

La distance de la vision distincte, est très-différente pour les diverses personnes : on la place à 8 pouces en général. On nomme *myope* celui pour qui elle est plus rapprochée, et *presbyte*, celui pour qui elle est plus éloignée : mais ces deux défauts de la vue viennent plus souvent de l'habitude que de la construction de l'œil (2).

---

(1) Le célèbre anatomiste *Home* suppose que les quatre muscles droits qui font mouvoir l'œil, changent aussi la courbure de la cornée transparente, laquelle est fort élastique, et que, par ce moyen, il nous est possible de voir nettement des objets placés à diverses distances.

Il est des animaux qui doivent avoir la faculté de distinguer les objets très-éloignés, sans cependant les perdre de vue lorsqu'ils en sont très-rapprochés. Les oiseaux de proie qui, par exemple, aperçoivent un très-petit oiseau sur la terre, quoiqu'à une très-grande élévation dans l'air, et qui ne cessent de le voir qu'au moment où ils le touchent, ont dû nécessairement changer la forme de leur œil; et, en effet, en examinant la structure de cet organe, on observe que la cornée opaque, mince en arrière, est garnie en devant d'un cercle osseux composé de petites pièces qui peuvent jouer les unes sur les autres, et qui offrent une très-grande solidité pour l'attache des muscles. (Voyez *Leçons d'Anatomie comparée* de M. *Cuvier*, tom. II, p. 387). Généralement l'organe de la vue, dans les différens animaux, est nécessairement en rapport avec leur manière de vivre. Par exemple, les poissons qui vivent dans un lieu où la lumière passe plus difficilement que dans l'air, et est absorbée en grande partie, ont les yeux conformés autrement que les animaux qui vivent dans l'air : leur cristallin est sphérique, beaucoup plus enfoncé dans l'humeur vitrée, et quelquefois mobile : leur cornée transparente est presque toujours plate; et souvent la pupille, au lieu d'offrir une ouverture circulaire, présente une sorte de treillage par les découpures de l'iris qui est mobile. On ignore en quoi ces modifications peuvent faciliter la vision de ces animaux, quoiqu'il soit probable qu'elles conviennent à leur existence. Il est remarquable que la rondeur du cristallin existe aussi dans le cormoran, oiseau qui pêche en plongeant. « Le docteur *Young* ayant fait passer un courant galvanique, à travers le cristallin d'un individu récemment mort, a remarqué que la distance focale n'éprouvait pas de variation; d'où il a conclu que le cristallin n'est pas contractible ».

(2) Cependant on sait qu'en général les myopes ont les yeux très-gros, très-saillans, ce qui dépend de la grande convexité de leur cornée transparente. Or, cette convexité suppose un intervalle plus grand pour l'humeur aqueuse contenue dans la chambre antérieure, et par conséquent un espace plus considérable entre la partie antérieure convexe du cristallin, et la partie postérieure et concave

§ 4. Ce qu'il y a de plus inexplicable dans le phénomène de la vision, c'est cette circonstance que l'image qui produit la sensation est dans l'œil, mais que cependant l'image que nous voyons en est dehors. La cause de ceci dépend sans doute du pouvoir de notre imagination, et par conséquent elle ne se rapporte pas à la Physique, mais à la Psycologie. Au reste, quoique ce phénomène ne soit pas expliqué, et que peut-être il ne puisse jamais l'être, le fait est si assuré, qu'il peut servir de principe fondamental pour l'explication d'autres phénomènes.

§ 5. La sensation et le jugement se confondent tellement dans les rapports de nos sens à cause de l'habitude, que nous croyons souvent éprouver une sensation, lorsque nous ne faisons que porter un jugement: c'est pour le sens de la vue que cet effet a lieu le plus fréquemment. Par cette raison, il est nécessaire de distinguer avec exactitude ce qui est, dans la vue, une vraie sensation, sans mélange d'aucun jugement. Pour y parvenir, il faut prendre le cas le plus simple; et c'est certainement celui où un seul point rayonnant envoie de la lumière dans l'œil. Ce qui parvient à l'œil alors, c'est la couleur de la lumière, et la direction dans laquelle le rayon du milieu du cône lumineux frappe la rétine; ce sont là les deux élémens les plus simples de la sensation de la vision.

§ 6. Les faits incontestables qui sont rapportés dans les deux articles précédens, peuvent résoudre d'une manière suffisante une question sur laquelle on a beaucoup discuté, c'est-à-dire, *comment il se fait que nous voyons les objets droits, tandis que leurs images qui se peignent dans l'œil, sont renversées*? Si l'image du point H que nous voyons, était à la même place où se produit dans l'œil la sensation de la vision, c'est-à-dire, en *h*, nous apercevrions l'objet entier comme une chose qui serait dans l'œil, et nous le verrions sûrement de même que l'image est dans l'œil, c'est-à-dire, renversé:

---

de la cornée transparente: il faut donc que l'objet soit plus rapproché de l'œil, pour que les rayons lumineux qui en partent, puissent converger. Dans les presbytes, au contraire, l'humeur aqueuse est en moindre quantité, et c'est ce qu'on observe dans les vieillards, comme le mot grec de presbytes l'indique. Donc ces défauts de la vision ne dépendent pas le plus souvent de l'habitude, mais de la construction même de l'œil, quoiqu'il soit vrai pourtant de dire que l'habitude les augmente.

mais, comme nous ne recevons que la couleur et la direction de la lumière venant de H, l'image visible avance et recule par un effet inexplicable de la force de notre imagination ; de sorte que nous ne pouvons voir le point H nulle part ailleurs que dans la partie de la ligne H*h* qui est hors de l'œil ; c'est-à-dire qu'un point dont la représentation se trouve au-dessous de l'axe de l'œil, est vu au-dessus, *et vice-versâ.*

§ 7. Si nous voyons les objets simples, quoique nous ayons deux yeux, c'est parce que nous voyons toujours les objets avec les deux yeux en même temps, et que la sensation confond les deux images en une seule.

§ 8. La *grandeur apparente* d'un objet HI, (*fig.* 72), est proprement la grandeur de son image *hi* sur la rétine. Lorsqu'on rapproche l'objet, l'image paraît plus grande ; si on l'éloigne, elle devient plus petite : la grandeur apparente est donc tout-à-fait différente de la *grandeur réelle ;* car celle-ci est invariable. On conçoit facilement que la grandeur apparente augmente ou diminue comme l'angle HLI ; on considère, par conséquent, cet angle sous lequel on voit un objet, comme la mesure de sa grandeur apparente, et on le nomme *l'angle visuel* ou le *diamètre apparent* de l'objet.

§ 9. La possibilité de voir est limitée : si l'angle visuel est trop petit, nous ne sommes plus en état de discerner l'objet. On admet ordinairement qu'un objet cesse d'être visible, quand son angle visuel est plus petit qu'une minute : cette évaluation ne doit cependant être considérée que comme approchée ; car la visibilité d'un point ou d'un objet, ne dépend pas seulement de la grandeur de son angle visuel, mais encore de la manière dont la lumière de l'objet se détache de la lumière du fond sur lequel il est vu. Un objet très-éclairé, lorsqu'il est placé sur un fond obscur, peut être visible sous un angle plus petit qu'une seconde, ainsi que le prouve l'observation des étoiles fixes parmi lesquelles il n'en est peut-être pas une seule qui ait un diamètre apparent d'une seconde ; mais, lorsque la lumière d'un objet se détache moins sur le fond, il peut devenir invisible sous un angle beaucoup plus grand.

§ 10. L'œil ne peut pas discerner immédiatement la distance des objets ; car l'impression qui se produit sur la rétine dépend uniquement, comme on le conçoit, de la direction et de l'intensité des

rayons lumineux à l'instant du contact. Ainsi l'espace plus ou moins grand que le rayon a parcouru avant de parvenir à l'œil, ne peut avoir aucune influence sur la sensation produite. Par conséquent, ce que nos deux yeux réunis paraissent nous indiquer sur la distance des objets, n'est pas une sensation, mais un jugement, lequel par l'habitude, se confond tellement avec la sensation, que nous ne pouvons qu'à peine l'en distinguer.

§ 11. Mais la nature nous a beaucoup facilité le jugement de la distance : car, quoique la distance ne soit pas sentie immédiatement, il y a pourtant dans la sensation de la vue, des circonstances qui diffèrent selon que nous considérons un objet voisin ou éloigné : de ce nombre sont les suivantes :

1.° Dans les yeux bien conformés, l'axe de chaque œil doit être dirigé vers le point que nous considérons ; si ce point est proche, les deux axes doivent faire un angle beaucoup plus grand que lorsqu'il est éloigné ; et l'effort des muscles, qui est nécessaire pour produire le mouvement de la pupille, est en effet une chose sentie.

2.° Le degré de clarté et de précision avec lequel nous voyons chaque point, est différent pour les objets rapprochés et éloignés.

3.° La lumière d'un objet éloigné, est beaucoup plus faible que celle d'un objet voisin, à cause du décroissement de l'intensité de la lumière (pag. 307, § 17), et, aussi, à cause de l'imparfaite transparence de l'air dans les basses régions de l'atmosphère.

4.° La grandeur apparente des objets dont nous connaissons la grandeur réelle, détermine notre jugement sur leur distance.

5.° Enfin la position d'un objet par rapport à d'autres objets dont la distance et la situation nous sont connues, sert aussi à former notre jugement.

§ 12. Pour les objets peu éloignés, où l'évaluation exacte de la distance nous est plus importante, toutes ces circonstances se réunissent pour décider notre jugement : plus la distance augmente, moins notre jugement est certain; et, au-delà de l'atmosphère, tous ces moyens nous abandonnent, de manière que non-seulement les astres, mais encore les météores élevés, nous paraissent tous placés sur une même surface, c'est-à-dire, attachés à cette voûte bleue que nous représente la lumière de l'air. On peut expliquer, d'après ce que nous avons dit à l'article 11, pourquoi cette voûte ne nous parait pas

avoir la forme d'une demi-sphère, mais celle d'une portion d'ellipsoïde, et pourquoi le soleil, la lune et les étoiles nous semblent plus grands et plus éloignés l'un de l'autre à l'horizon, que dans les parties plus élevées du ciel. Cette illusion dépend de ce que plusieurs circonstances se réunissent pour nous faire présumer que les objets aperçus près de l'horizon, sont très-éloignés, tandis que ces moyens manquent dans le jugement que nous portons sur la distance des objets que nous voyons au-dessus de nos têtes.

§ 13. Les deux dernières indications rapportées à l'art. 11, pour l'évaluation de la distance, servent aussi à déterminer notre jugement sur la grandeur réelle de l'objet; c'est-à-dire, si nous pouvons juger exactement de la distance par d'autres moyens, cette distance, comparée avec la grandeur apparente de l'objet, donne la possibilité d'évaluer sa grandeur réelle.

De plus, si nous voyons un objet inconnu parmi d'autres objets que nous connaissons, ceux-ci nous fournissent une mesure de sa grandeur réelle.

§ 14. De même la *forme apparente* d'une chose, n'est pas sa *forme reélle* : l'image qui se peint sur la rétine, n'est pas un corps, mais un plan, et par conséquent chaque objet paraît aux yeux comme une simple surface. Cependant nous jugeons avec beaucoup d'exactitude de la forme réelle d'un objet apparent, sur-tout lorsqu'il est assez près, parce que tout ce qui détermine notre jugement sur la grandeur et la distance, sert encore ici à nous faire juger de la forme : mais, ce sont sur-tout les alternatives d'ombre et de lumière qui nous font reconnaître cette forme, particulièrement lorsqu'il nous est possible de considérer l'objet de plus d'un côté.

§ 15. D'après ces observations, on peut concevoir la possibilité de représenter les objets apparens sur une simple surface, comme on le fait dans la peinture. Indépendamment de ce que le génie inventeur de l'artiste place dans un tableau, il faut, pour l'exacte représentation de la nature, que les perspectives géométrique et aérienne y soient observées. La première apprend à dessiner les contours des objets, de même qu'ils paraissent à l'œil d'après les lois de la lumière : cette partie est susceptible de calcul; et, d'après cela, elle est considérée comme une section des Mathématiques appliquées. La perspective aérienne consiste dans la dégradation exacte

de la lumière et de la netteté des objets, selon leur éloignement. Elle ne peut être soumise à des considérations mathématiques, à cause de l'imperfection de la photométrie théorique et pratique (pag. 309, § 21.)

§ 16. Lorsqu'un corps nous paraît se mouvoir, ce que nous apercevons n'est pas son *mouvement réel*, mais son *mouvement apparent*. Un corps qui se trouve dans l'axe de l'œil, et qui avance ou qui recule directement devant lui, nous paraît en repos, pourvu qu'il ne soit pas assez près pour que nous puissions apercevoir le changement de sa grandeur apparente et de sa distance. Dans les autres cas, c'est toujours le mouvement de l'image sur la rétine que nous apercevons; et l'on conçoit qu'il peut être fort différent du mouvement réel de l'objet; car lorsque l'œil lui-même est en mouvement, les images changent de place sur la rétine, tandis que les objets qu'elles représentent restent en repos. Si l'observateur ne sent pas son propre mouvement, il doit imaginer que ce sont les objets qui se meuvent. Ce cas arrive effectivement, puisque nous ne pouvons pas sentir les mouvemens du globe que nous habitons, et qu'ils n'ont pu être découverts que par les astronomes qui sont continuellement occupés à comparer notre position avec celle de tous les autres corps célestes. Si l'œil et l'objet vu sont en mouvement en même-temps, les phénomènes se compliquent davantage : c'est ce qui a lieu pour le cours apparent des planètes dans la sphère céleste.

C'est une grande gloire pour l'esprit humain d'être parvenu à porter de l'ordre et de la netteté dans cette matière difficile : mais il ne pouvait y réussir que par les Mathématiques ; car ces phénomènes sont susceptibles d'être calculés rigoureusement : cependant on n'a pas coutume de les exposer dans une section séparée des Mathématiques appliquées, mais en partie dans la Perspective, et en partie dans la Mécanique et dans l'Astronomie.

§ 17. Il est clair, par ce qui précède, que toutes les illusions d'optique ne sont pas des sensations mensongères, mais de faux jugemens auxquels nos sensations donnent souvent sujet. Nous jugerions beaucoup plus mal, si nos sensations elles-mêmes nous trompaient et pouvaient nous présenter de fausses images. C'est ce qui arrive quelquefois dans les maladies nerveuses.

CHAPITRE XLI.

De la Réflexion de la lumière par les miroirs, ou premiers principes de la Catoptrique.

§ 1. A proprement parler, toutes les surfaces polies réfléchissent à la manière de miroirs : même, lorsqu'on regarde obliquement une surface polie, on y voit quelques images semblables à celles qui se représentent dans un miroir; mais le plus souvent elles sont indistinctes : cependant, parmi les corps solides, il ne se trouve que quelques métaux simples et quelques amalgames de métaux qui soient susceptibles de prendre un poli parfait. Les glaces à miroir ne font pas même exception à ceci; car c'est proprement l'amalgame de mercure et de zinc dont la surface postérieure est revêtue, qui produit l'effet de miroir.

§ 2. Les miroirs de glace rendent, à la vérité, les miroirs métalliques inutiles pour l'usage ordinaire; mais ils ne peuvent être employés pour les expériences exactes d'Optique, parque qu'ils font une double réflexion aux deux surfaces du verre, et aussi parce que la lumière qui parvient à la surface postérieure, est elle-même réfractée deux fois dans le verre, et que par conséquent les phénomènes qu'on observe, ne sont pas produits par la seule réflexion des rayons (*). Ces inconvéniens sont d'autant plus fâcheux, qu'il est difficile de préparer une bonne composition pour les miroirs métalliques.

§ 3. Parmi les formes infiniment variées qu'on peut donner aux surfaces des miroirs, il n'en est que deux dont il soit important de

(*) On doit concevoir que parmi des rayons partis du point lumineux, les uns sont réfléchis au contact de l'air et la surface antérieure du miroir, tandis que les autres, après avoir subi une première réfraction et pénétré jusqu'à la surface postérieure où ils rencontrent l'amalgame, y subissent une seconde reflexion, traversent de nouveau l'épaisseur du verre et repassent dans l'air après une seconde réfraction éprouvée à la surface antérieure. L'œil devrait ainsi recevoir deux images, mais qui se confondent à cause du peu d'épaisseur du miroir.

parler avec détail, ce sont celles des miroirs plans et des miroirs sphériques : sous la dernière dénomination, on comprend tous ceux qui sont des portions d'un miroir sphérique, polies à l'extérieur ou à l'intérieur. On a tenté en vain plusieurs fois depuis *Descartes*, de polir des miroirs de courbures elliptique, parabolique, etc.; mais indépendamment des obstacles presque insurmontables que présente leur fabrication, il est démontré par la théorie que, relativement à leurs effets, ils seraient inférieurs aux miroirs sphériques. Les miroirs coniques et cylindriques ne servent absolument que pour les jeux d'optique.

Loi fondamentale de la Catoptrique.

§ 4. Tous les phénomènes lumineux qui se produisent au moyen des miroirs, quoiqu'ils soient très-variés, reposent tous sur une seule loi extrêmement simple: cette loi est la suivante :

Si un rayon de lumière HA (fig. 73), *tombe sur une surface quelconque* BAC, *ou* DAE, *ou* FAG, *et qu'on élève au point d'incidence* A, *la ligne* AI *perpendiculaire au miroir ; si ensuite l'on suppose par la pensée un plan qui contiendrait cette ligne et le rayon incident* HA, *le rayon réfléchi* AK *se trouvera aussi dans ce plan, et de manière à faire avec la perpendiculaire* AI, *un angle* IAK *égal à l'angle* IAH, *formé par le rayon incident avec cette perpendiculaire.*

En un mot, le rayon incident et le rayon réfléchi ont, par rapport à la perpendiculaire AI et au miroir, une position opposée, mais symétrique. On nomme AI *la perpendiculaire incidente*, IAH *l'angle d'incidence* et IAK *l'angle de réflexion*. Si un rayon tombe perpendiculairement sur un miroir, l'angle d'incidence et par conséquent celui de réflexion, sont nuls, c'est-à-dire que le rayon est réfléchi sur lui-même.

L'exactitude de cette loi peut être prouvée par l'expérience, de diverses manières; et en général il suffit, pour y parvenir, de rendre visible la direction du rayon incident et celle du rayon réfléchi. Une des méthodes les plus simples pour parvenir à ce but, c'est de faire arriver la lumière du soleil par une très-petite ouverture sur un miroir quelconque placé dans une chambre sombre, où l'on peut observer les grains de poussière répandus dans l'air et éclairés par la lumière incidente et par la lumière réfléchie (1).

(1) On trouve dans les traités de physique, des procédés plus simples.

Du miroir plan.

§ 5. Les phénomènes connus du miroir plan, s'expliquent très-facilement par cette loi. Soient AB, (*fig.* 74), le profil d'un tel miroir, C un point rayonnant situé devant sa surface; qu'on mène la ligne CD perpendiculaire au miroir, et qu'on la prolonge au-delà d'une longueur DE = DC. Si maintenant un rayon quelconque CF venant de C, tombe sur le miroir, il n'est besoin que de tirer de E en F, la ligne EFG, pour trouver la position du rayon réfléchi; car l'égalité des triangles FDC et FDE étant facile à démontrer, il s'ensuit que les angles DFC et DFE sont égaux; mais DFE est opposé par le sommet à l'angle BFG; par conséquent DFC et BFG sont aussi égaux, c'est-à-dire que FG est, selon la loi de la Catoptrique, le rayon réfléchi.

On voit donc que tous les rayons venant de C, sont réfléchis par le miroir, de manière que leurs directions passent toutes par le même point E. Par conséquent un œil placé devant le miroir, dans une position telle qu'il puisse recevoir un de ces rayons réfléchis, doit voir en E une représentation du point C (pag. 312 § 2); mais comme ce qui a été démontré pour le point C, est applicable à tous les autres points, on conçoit comment l'image d'un objet doit se présenter dans le miroir, et en apparence, derrière sa surface, à une distance égale à sa distance réelle (*).

(*) Soient un objet *ab* placé au-devant d'un miroir plan AB (*fig.* 75), et un œil au point O; parmi les rayons que les extrémités de cet objet, envoient sur tous les points de ce miroir, il s'en trouvera deux *a*R et *b*S qui, en se réfléchissant, pourront se réunir en O, et pénétreront dans l'œil qui, rapportant l'existence de ces objets dans la direction des rayons OR et OS, et jugeant de sa grandeur par l'angle ROS qu'ils font entre eux, le verra en $a'b'$ derrière le miroir. La réflexion de la lumière par les miroirs plans, présente quelques circonstances qu'il est important de remarquer. 1.° Il s'en faut de beaucoup que la totalité de la lumière soit réfléchie par ces miroirs; on peut penser que la lumière non réfléchie est absorbée par le miroir, ou du moins qu'elle est modifiée par la réflexion de manière à ne plus affecter l'organe de l'œil: 2.° la couleur des miroirs influe beaucoup sur la quantité de lumière réfléchie; les noirs en réfléchissent le moins et les blancs le plus possible. 3.° L'incidence sous laquelle la lumière tombe sur un miroir, n'influe pas moins sur la quantité de lumière réfléchie; ensorte que,

Des miroirs sphériques.

§ 6. Soit ADB, (*fig.* 76), le profil d'un miroir sphérique, et C le centre de la sphère dont ce miroir est un segment : on nomme ce point *le centre géométrique*; et D qui est le point du milieu du segment lui-même, s'appelle *le centre optique*. Une ligne droite menée indéfiniment par C et D, représente l'axe; CD est le rayon du miroir, et DA ou DB sont les *demi-largeurs* ou *ouvertures*. Si la surface intérieure est polie, le miroir est *concave* ou *convergent*; il est *convexe* ou *divergent*, si la surface extérieure est polie (1).

Phénomènes qui se produisent par le miroir concave.

§ 7. Si l'on dirige l'axe du miroir concave vers le soleil, tous les

---

sous un angle très-aigu, un miroir noir réfléchit presqu'autant de lumière qu'un miroir blanc. 4.° Les corps opaques ne sont pas les seuls qui puissent constituer des miroirs; car le corps le plus transparent peut réfléchir presque complètement la lumière, pourvu que son incidence soit assez oblique, comme on peut souvent le remarquer aux carreaux de vitre.

(1) Lorsqu'on ne prétend pas à une exactitude rigoureuse, on peut produire les phénomènes des deux espèces de miroirs, avec des miroirs de glace; mais alors le rayon lumineux traversant la surface antérieure, s'y réfracte avant de parvenir à la surface postérieure qui le réfléchit. Ainsi, dans ce cas, on ne doit pas juger, comme précédemment, des propriétés du miroir d'après la seule inspection de sa surface antérieure; ce n'est que lorsque les deux faces sont parallèles, ou plutôt lorsqu'elles sont courbées concentriquement, ce qui est très-difficile à obtenir avec exactitude, que le miroir peut être aussi appelé convergent, quand sa surface antérieure est concave, et divergent quand elle est convexe. Mais si, au contraire, les deux faces, comme il arrive ordinairement, sont de formes et de courbures différentes, on appelle miroir convexe, ou miroir de convergence, celui dont les bords sont plus minces que le milieu; et miroir concave, ou de divergence, celui dont les bords sont plus épais que le milieu; la surface antérieure étant indifféremment ou plane, ou bombée, ou concave, parce qu'elle ne contribue à la réflexion que pour une quantité très-petite comparativement à la surface étamée. Ceux qui connaissent l'effet de ces deux espèces de miroirs, savent que le miroir de convergence grossit un objet placé entre C et D (*fig.* 76), et que le miroir de divergence le diminue. En ayant égard à cette observation, on peut faire les expériences indiquées aux paragraphes 7, 8, 9 et 12, avec des miroirs de glace.

rayons parallèles qui viennent frapper sa surface, sont rassemblés par la réflexion dans une très-petit espace F, qui se trouve justement au milieu entre C et D : non-seulement il se produit en ce point une lumière éblouissante, mais encore il s'y développe une vive chaleur dont l'intensité ne peut être égalée que par celle du feu augmentée par l'oxigène (p. 99, § 3). Par cette raison, on nomme cet espace le *foyer* du miroir, et la distance DF sa *distance focale*. Pour que cet effet soit aussi fort qu'il est possible, le miroir doit être très-grand et sa distance focale plus courte que la largeur de sa surface, ou au moins ne doit-elle pas l'excéder; car plus la distance focale est considérable, en comparaison de la surface du miroir, et moins le foyer aura d'action. Un corps qu'on veut exposer à la chaleur du foyer d'un miroir, doit être plus petit que cet espace, afin d'être environné de toutes parts par la chaleur qui y est rassemblée. Un miroir concave disposé pour cet objet, se nomme un *miroir ardent*.

§ 8. Si l'on place une flamme dans le foyer d'un miroir concave, toute la lumière qui va frapper le miroir, sera réfléchie presque parallèment à l'axe : et comme la lumière parallèle conserve toujours une égale force, excepté lorsqu'elle est affaiblie par l'absorption que lui fait éprouver le milieu dans lequel elle passe, on peut propager ainsi une vive lumière à une distance considérable : on nomme *miroir collecteur*, un miroir concave préparé pour cet effet.

§ 9. Les images des objets que représente un miroir concave, offrent des phénomènes beaucoup plus variés que ceux qu'on observe dans le miroir plan. En plaçant une bougie allumée devant le miroir, dans une chambre obscure, tous les phénomènes suivans deviennent pafaitement visibles.

1.° Si la flamme est en-deçà du foyer, près du miroir, on en voit une image verticale et grossie qui paraît un peu plus loin derrière le miroir, que la flamme elle-même n'est au-devant : à mesure qu'on rapproche la lumière du foyer, l'image grandit et s'éloigne.

2.° Si la flamme est au foyer, son image ne se trouve nulle part; mais on voit seulement le réflet lumineux dont nous avons parlé dans l'article précédent, et qui consiste presque en rayons parallèles.

3.° Si l'on place la lumière au-delà du foyer, on n'aperçoit pas non plus son image dans le miroir; mais lorsqu'elle est à une certaine distance, il s'en peint une image grossie et renversée sur un mur

blanc opposé au miroir : si on éloigne la lumière encore davantage, cette image est plus proche et plus petite. Lorsque la distance de la flamme devient double de la distance focale, l'image coïncide avec elle, parce qu'elle est alors au centre de courbure du miroir; si on la recule encore, l'image qui est alors plus petite que la flamme, se rapproche du foyer, et finirait par tomber précisément dans le foyer, si l'on pouvait éloigner indéfiniment la lumière. On voit par là que, dans un miroir ardent, la violente chaleur qu'on observe au foyer est produite par une image du soleil qui vient s'y représenter.

§ 10. Ce n'est que par le calcul qu'on peut donner une explication complète de ces phénomènes. Il y a cependant une méthode très-simple et très-ingénieuse de déterminer par des constructions géométriques quel doit être le phénomène dans chaque cas donné; mais elle suppose quelques résultats de recherches mathématiques que nous devons seulement faire connaître ici historiquement. A la fin de ce chapitre, nous rapporterons les démonstrations rigoureuses. Les propositions qu'on doit admettre sont les suivantes :

1.° Chaque rayon dirigé parallèlement à l'axe, est réfléchi au foyer.

2.° Tous les rayons qui viennent d'un point quelconque qui se trouve dans la direction de l'axe ou qui ne s'en écarte que très-peu, sont réfléchis de manière que leurs directions se coupent toutes en un point et y produisent par conséquent une image du point rayonnant : mais cette image est quelquefois devant, quelquefois derrière le miroir; elle peut même être à un éloignement infini, et alors les rayons réfléchis sont parallèles.

La conséquence de ces principes est que, lorsqu'on connaît seulement la direction que prennent, en se réfléchissant, deux rayons venus d'un même point, on connaît aussi la direction de tous les autres.

3.° Lorsque plusieurs points sont à une égale distance du miroir, leurs images en sont aussi également éloignées.

C'est par suite de ceci que, quand on place un objet devant un miroir, les rayons réfléchis doivent toujours en produire une image, soit devant, soit derrière le miroir.

§ 11. En admettant ces propositions comme exactes, on démontre qu'on peut déterminer, dans chaque cas, toutes les conditions de la formation des images, quand on connaît seulement deux rayons qui viennent des points extrêmes d'un objet. Pour faire cette démons-

tration, on trace le profil du miroir ABC (*fig.* 77, 78, 79), son axe CD, et son foyer F; on représente l'objet rayonnant par une ligne droite KG qui est perpendiculaire à l'axe, et qui ne doit être ni plus petite ni plus grande que la hauteur du miroir, mais qui se prolonge également des deux côtés de l'axe. Du plus haut point K de cet objet, on mène deux rayons KA et KC sur le miroir; KA parallèle à l'axe, est, par conséquent, réfléchi au foyer F (pag. 325, § 10, n.° 1); KC dirigé vers le centre optique C du miroir, sera réfléchi vers le point le plus inférieur de l'objet, d'après la loi de la Catoptrique (pag. 321, § 4): on prolonge la direction de ces deux rayons réfléchis jusqu'à ce qu'ils se coupent, et le point *k* de leur intersection, est l'image du point K de l'objet (p. 325, § 10, n.° 2). Si l'on tire de ce point *k* une ligne *kg* qui passe perpendiculairement par l'axe, et qu'on la prolonge également des deux côtés, de sorte que $kh = gh$, cette ligne représentera l'image qu'offre le miroir dans les circonstances données (pag. 325, § 10, n.° 3).

La *fig.* 77 montre le cas où l'objet KG est en deçà de la distance focale CF. Les deux rayons réfléchis AF et CG qui viennent primitivement de K, divergent ici; et l'on doit par conséquent les prolonger derrière le miroir, pour trouver leur point d'intersection *k* où est l'image du point K, aussi bien que *kg* qui présente l'image de l'objet entier. Ceci est l'explication du phénomène rapporté à l'art. 9, n.° 1, pag. 324.

Dans la *fig.* 78, l'objet KG est lui-même au foyer F. Ici les deux rayons réfléchis AF et CG deviennent parallèles; car, puisque, d'après la remarque faite à la fin de l'article 9, le miroir ne doit avoir qu'une très-faible courbure pour produire une image distincte, on peut considérer CAKF comme un parallélogramme; mais alors CAFG est aussi un parallélogramme, puisque CA et FG sont égaux et parallèles. Dans ce cas, il ne doit donc se produire aucune image de l'objet; ou bien l'on peut dire qu'elle se produit à un éloignement infini, derrière ou devant le miroir. Cela explique le deuxième phénomène indiqué à l'art. 9.

La *fig.* 79 présente l'objet KG plus loin que la distance focale. Les deux rayons réfléchis AF et CG convergent ici visiblement et prolongés suffisamment, ils se coupent au-dessous de l'axe en *k*, de manière que le miroir produit ici dans l'air une image *kg* de l'objet. Le phénomène décrit au n.° 3 de l'article 9, s'explique de cette manière.

On peut traiter de même tous les autres cas qui se présentent. Le lecteur pourra sur-tout examiner les changemens qui arrivent dans le dernier des phénomènes que nous avons considérés, et qui sont rapportés à la fin de l'article 9; c'est-à-dire, les différences qu'on observe selon que l'objet est entre le centre géométrique et le foyer, ou au centre géométrique lui-même.

Phénomènes qui se produisent par le miroir convexe.

§ 12. Les phénomènes que présente un miroir convexe, lorsqu'un objet y répand sa lumière, sont beaucoup plus simples. Quelque part que soit placé l'objet devant le miroir, on en aperçoit toujours une image plus petite que lui, et située verticalement derrière le miroir. Lorsqu'on dirige l'axe d'un miroir convexe vers le soleil, il ne rassemble pas sa lumière, il la disperse : mais on peut prouver aussi bien par l'expérience que par le calcul, que la petite image du soleil, de laquelle vient cette dispersion de lumière, est placée à égale distance entre le centre optique et le centre géométrique, par conséquent derrière le miroir. A cause de cela, on nomme cette place le *foyer négatif du miroir*, et sa distance derrière le miroir, *la distance focale négative.*

§ 13. Les propositions théoriques rapportées à l'article 10, p. 325, peuvent s'appliquer aux miroirs convexes comme aux miroirs concaves; seulement l'expression de la première doit être changée ainsi : un rayon parallèle à l'axe, doit être réfléchi comme s'il venait du foyer négatif. Avec cette modification, la construction décrite à l'article 11, peut servir aussi pour le miroir convexe.

Soient donc ACB, (*fig.* 80), le profil d'un semblable miroir, FD son axe, F son foyer négatif, et soit KG l'objet : si l'on mène de K le rayon KA parallèle à l'axe, il sera réfléchi dans la direction AL, comme s'il venait de F : le rayon KC est réfléchi vers G. Les deux rayons réfléchis divergent visiblement, et l'on doit, par conséquent, les prolonger derrière le miroir, pour trouver leur point d'intersection *k*, et pour marquer l'image entière *kg* de l'objet KG.

§ 14. Il faut connaître parfaitement la distance focale d'un miroir sphérique, lorsqu'on veut l'employer à des expériences exactes.

Pour un miroir concave, on la détermine de plusieurs manières : par exemple, on présente le miroir aux rayons du soleil, de manière

que leur direction soit parallèle à son axe, et l'on mesure la distance de l'image au miroir; ou bien on taille un morceau de papier en rond et de la grandeur du miroir, on y trace un diamètre, et l'on fait sur celui-ci deux petites ouvertures rondes à une égale distance du centre; on attache la feuille sur le miroir, et on présente celui-ci à la lumière du soleil : les rayons réfléchis par les deux ouvertures convergent; on cherche le point où ils se réunissent, et l'on mesure sa distance au miroir.

Une troisième méthode sera exposée dans les additions mathématiques qu'on trouvera à la fin de ce chapitre, § 22.

Pour un miroir convexe, on ne peut employer que la deuxième méthode. Lorsqu'on a attaché le papier au miroir, on voit que les rayons réfléchis divergent, et l'on doit chercher les points où ils sont entre eux, à une distance double de celle qu'ils avaient sur le miroir : on mesure la distance de ces points au miroir, et l'on connaît ainsi la distance focale négative (pag. 327, § 12).

ADDITIONS MATHÉMATIQUES

§ 15. Les propositions rapportées aux articles 10 et 13, ne sont pas exactes à la rigueur, mais conditionnellement. Cette condition consiste en ce qu'elles approchent d'autant plus de la vérité, que l'étendue du miroir est plus petite en comparaison de sa distance focale, ou du rayon de la sphère sur laquelle le miroir est construit. Cependant on peut prouver par un examen plus approfondi, que l'inexactitude dont nous parlons, est à peine appréciable pour nos sens, même orsque le segment sphérique qui forme le miroir, est de plusieurs degrés. Pour es miroirs qui doivent donner des images nettes et distinctes, la largeur ne peut, tout au plus, qu'être égale à la moitié de la distance focale, et, dans certain cas, elle doit être beaucoup moindre.

Cette remarque justifie les approximations auxquelles nous allons nous borner dans les démonstrations suivantes.

§ 16. *Théorème. Un rayon lumieux* EA, (*fig.* 81), *qui tombe parallèlement à l'axe, sur un miroir concave, est réfléchi entre le centre optique* D *et le centre géométrique* C, *et d'autant plus près du foyer* F, *qu'il passe plus près de l'axe.*

Démonstration. Si l'on mène de A en C la droite AC, elle sera un rayon de a sphère ADB, et par conséquent perpendiculaire en A à la surface du miroir : si l'on prend de plus l'angle CAF = CAE; et que AE soit le rayon incident, AF sera le royon réfléchi (pag. 321, § 4.)

Si l'on considère maintenant le triangle AFC, on voit facilement que $AF = FC$, puisque les angles FAC et FCA sont égaux ; car tous deux sont égaux à l'angle EAC, le premier par la construction même, et le second, parce que AE étant parallèle à FC, les angles FCA et CAE sont alterne-interne. Maintenant, si l'on avait $AF = DF$, on aurait aussi $DF = FC$; par conséquent F serait parfaitement au milieu de la ligne DC. Cela n'arrive pas exactement ainsi pour tous les rayons ; mais la différence entre la ligne la plus courte DF et la plus longue AF, est d'autant plus petite, que AD est plus petit en comparaison de DF ou de DC. Si l'arc AD ou l'angle AFD ne comprennent que peu de degrés, on peut supposer, sans inconvénient, $DF = AF$; par conséquent aussi $DF = CF$, et par là le n.° 1 de l'art. 10, est démontré.

§ 17. Théorème. *Dans un miroir convexe* ADB, (fig. 82), *le rayon* EA *parallèle à l'axe, sera réfléchi dans la direction* AH, *comme s'il venait du milieu* F *du rayon* CD. La démonstration est semblable à la précédente. La ligne CAG est perpendiculaire à l'arc ADB en A : si donc on fait $GAH = GAE$, AH est le rayon réfléchi qui, étant prolongé, coupe l'axe en F. Or, dans le triangle CAF, on a $CF = AF$, puisque $CAF = ACF$: l'égalité de ces angles vient de ce que $CAF = HAG$, comme angles opposés au sommet, et $ACF = GAE$, comme angles correspondans ; enfin $HAG = GAE$, à cause de la loi fondamentale de la réflexion (pag. 321, § 4). Mais FA et FD ne sont pas à la vérité rigoureusement égaux, non plus que dans la figure 81 ; seulement ils approchent de l'égalité, en admettant les mêmes conditions que dans l'article précédent : c'est pourquoi CF est d'autant plus près d'être égal à FD, que le rayon incident passe plus près de l'axe. Ceci est la démonstration du principe qui a été supposé dans l'article 12.

§ 18. Problème. *Dans l'axe* ED *du miroir sphérique* ADB, (fig. 83), *se trouve un point rayonnant* E ; *un rayon* EA *qui en émane, frappe le miroir en* A, *et est réfléchi vers* F. *Il s'agit de trouver une équation entre la distance focale du miroir* égale à $\frac{1}{2} DC = p$, *la distance du point lumineux* $DE = a$, *et la distance* $DF = \alpha$ *à laquelle le rayon réfléchi coupe l'axe.*

Solution. Soit C le centre géométrique du miroir ; CA sera perpendiculaire en A à sa surface : par conséquent, d'après la loi de la Catoptrique, $CAF = CAE$; mais, d'après une proposition géométrique connue, $CAF = AFD - ACF$, et $CAE = ACF - AEC$, et par conséquent aussi $AFD - ACF = ACF - AEC$, ou $2ACF = AFD + AEC$, ou enfin $2ACD = AFD + AED$. De plus, on démontre dans la Trigonométrie, que dans un triangle rectangle dont un des angles aigus est fort petit, cet angle est, à fort peu près, proportionnel au côté opposé divisé par le coté adjacent, et d'autant plus exactement que le côté opposé est moindre. Or, si nous voulons produire des images distinctes, nous devons regarder l'arc AD comme très-petit relativement à DF, DC et DE ; nous pouvons donc le considérer comme une ligne droite perpendiculaire sur

l'axe DE, et par conséquent considérer aussi les triangles ADF, ADC et ADE, comme des triangles rectangles en D, qui ont de très-petits sur angles la base en F, C et E. Par conséquent

l'angle ACD est proportionnel à .... $\frac{AD}{DC}$

AFD à .... $\frac{AD}{DF}$

AED à .... $\frac{AD}{DE}$

Si dans l'équation ci-dessus $2ACD = AED + AFD$, on met, au lieu de ces angles, les valeurs qui leur sont proportionnelles, on aura

$$\frac{2AD}{DC} = \frac{AD}{DE} + \frac{AD}{DF},$$

ou, en divisant tout par AD,

$$\frac{2}{DC} = \frac{1}{DE} + \frac{1}{DF}.$$

Enfin, si l'on substitue $2p$ à DC, a à DE, et α à DF, on aura

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha},$$

ce qui est l'équation demandée entre p, a et α.

Remarque. La formule que nous venons de trouver, admet une application très-étendue, et nous montrerons, soit ici, soit dans la Dioptrique, que tous les phénomènes possibles qui ont lieu dans les miroirs et dans les verres sphériques, peuvent être représentés par elle, et que par conséquent on doit la regarder comme la base de tous les calculs d'Optique. Il est utile de donner un énoncé simple à une proposition si importante.

Pour cela, il faut observer qu'il est assez ordinaire d'appeler le quotient qu'on obtient en divisant l'unité par une quantité quelconque, la valeur réciproque de cette quantité. Alors $\frac{1}{p}$ est la valeur réciproque de p, et ainsi du reste. Une quantité et sa valeur réciproque ont entre elles un rapport tel que si l'on connaît l'une des deux, on trouve toujours l'autre en divisant l'unité par celle des deux qui est connue : ainsi, 1 divisé par $\frac{1}{p}$ donne p. Comme on obtient si facilement l'une de ces valeurs par l'autre, on peut presque indifféremment considérer l'une ou l'autre, comme la quantité connue ou cherchée. Il est donc avantageux de laisser à l'équation ci-dessus sa forme, et de ne point éliminer

les diviseurs, parce qu'elle perdrait beaucoup de sa simplicité et de son utilité.

Si l'on nomme DE $= a$, et DF $= \alpha$, *les deux distances de réunion des rayons*, la formule, dans sa forme rapportée ci-dessus, exprime le théorème suivant :

La valeur réciproque de la distance focale, est égale à la somme des valeurs réciproques des deux distances de réunion des rayons.

§ 19. 1.° C'est une propriété essentielle de toute formule algébrique, qu'elle ne s'applique pas seulement au cas particulier qu'on a pris pour base du calcul, mais qu'elle sert aussi à tous les cas imaginables de même espèce : on doit cependant remarquer que lorsqu'on l'applique à d'autres cas, il faut quelquefois changer le signe de l'une ou l'autre quantité. Dans le cas qui a servi à établir la formule, nous avons considéré toutes les quantités qui s'y présentent, savoir : p, a, α, comme positives, en les supposant placées les unes par rapport aux autres, comme le représente la *fig.* 83. Mais si une de ces lignes, dans un autre cas, se trouve avoir une situation opposée, il faut lui donner le signe négatif. Avec cette modification, notre formule s'applique à tous les cas imaginables dans lesquels un rayon incident EA, coupe l'axe quelque part en E. Tant que le point E reste devant le miroir, comme dans la *fig.* 83, la quantité a reste positive. Mais si le rayon ne vient pas d'un point de l'axe, et qu'au contraire il se dirige vers un de ces points, comme GA, (*fig.* 84), se dirige vers E, la distance DE qui était devant le miroir dans la *fig.* 83, se trouve maintenant derrière lui ; de sorte qu'il faut représenter DE par $-a$; et la formule serait alors, pour un miroir concave, $\frac{1}{p} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$. Si, de plus, le miroir dont il s'agit, est un miroir convexe, le rayon et la distance focale (§ 12) ont une position opposée à celle qu'indiquent les *fig.* 83 et 84 ; il faut donc représenter la distance focale par $-p$. Dans ce cas, lorsque le point rayonnant est devant le miroir, comme dans la *fig.* 83, a reste positif, et la formule est $-\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$. Mais si l'intersection du rayon incident avec l'axe CD, se faisait derrière le miroir comme dans la *fig.* 84, a serait aussi négatif, et par conséquent on aurait $-\frac{1}{p} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, etc.

Ce qui vient d'être dit, ne peut cependant s'appliquer qu'aux quantités que l'on considère, dans un cas particulier, comme des quantités données ; mais on voit facilement que des trois quantités p, a et α, contenues dans la formule, chacune peut être considérée comme inconnue, lorsque les deux autres sont données. Ainsi, la formule sert généralement à trouver une de ces trois quantités par les deux autres, et elle détermine en même temps le signe qu'il faut lui attribuer.

2.° Puisque AD (*fig.* 83), s'est trouvé tout-à-fait éliminé du calcul, c'est une preuve que la grandeur de cet arc n'influe pas sensiblement sur la position du point F, où le rayon réfléchi coupe l'axe, pourvu que AD soit en général un très-petit arc, comme le suppose tout le calcul. Il suit donc de là, que non-seulement le rayon EA, mais tous les rayons venant du même point E, se réuniront après la réflexion, assez exactement au même point F, et y produiront une image du point E, qui sera visible pour un œil placé de manière à recevoir, à quelque distance, les rayons qui divergent, en venant de F.

3.° Comme notre formule s'applique à toutes les positions du point E dans l'axe, il est démontré par là que de chaque point rayonnant situé sur l'axe, il se produit toujours par la réflexion une nouvelle image de ce point, située dans ce même axe : cette image est devant le miroir, si le calcul donne une valeur positive de $\alpha = \mathrm{DF}$; elle est derrière, si la valeur de α se trouve négative ; elle est à une distance infinie, si l'on trouve α infini, ou, ce qui revient au même, $\frac{1}{\alpha} = 0$ (car 0 et l'infini sont des valeurs réciproques). Ce dernier cas a lieu pour un miroir de convergence, lorsque l'on suppose DE = DF, c'est-à-dire, $a = p$; car alors on a

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{p} \pm \frac{1}{\alpha}, \text{ c'est-à-dire } \frac{1}{\alpha} = 0;$$

d'où l'on voit que si les rayons partent du foyer, ils deviennent parallèles à l'axe par la réflexion, c'est-à-dire, que leur point de réunion est à une distance infinie.

§ 20. Problème. *Déterminer les circonstances de la réflexion, lorsque le point rayonnant est hors de l'axe, mais à peu de distance.*

Solution. Soit G, (*fig.* 85), un point rayonnant près de l'axe : qu'on mène par le centre géométrique la ligne droite GCH, et qu'on la prolonge jusqu'au miroir ; on voit facilement que cette ligne peut être absolument considérée comme un axe, puisque ADB est sphérique. Si donc un rayon GK tombe sur le miroir et est réfléchi vers GL, en faisant $\mathrm{HG} = a$, et $\mathrm{HL} = \alpha$, nous aurons comme ci-dessus,

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

et toutes les conséquences que nous avons tirées de cette formule relativement à l'axe (pag. 331, § 19), doivent être appliquées à la ligne GH. D'où il résulte que *chaque point rayonnant situé sur la ligne* GH, *produit une image quelque part dans cette même ligne,* image qui peut, selon les différens cas, se trouver tantôt devant, tantôt derrière le miroir, et tantôt à une distance infinie.

De cette manière, la seconde supposition que nous avions admise, (pag. 325, § 10), se trouve complètement démontrée.

§ 21. 1.° Comme nous avons supposé partout que la largeur du miroir est peu considérable relativement à la distance focale, et que le point rayonnant G est près de l'axe, il est évident que toutes les lignes qu'on peut mener de G vers le miroir et qui ne passent plus par C, seront toutes presque égales en longueur : la même chose a lieu pour toutes les lignes qu'on peut mener de L au miroir. Ainsi, il suit de là que la formule $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ s'éloignerait très-peu de la vérité, même dans le cas où l'on n'aurait pas mesuré a et α, c'est-à-dire, la distance des point H, G et L, sur la ligne GH, et en supposant qu'on y substituât leur distance perpendiculaire au miroir. Il suit encore de là, que s'il se trouvait au-dessous de G, plusieurs points rayonnans à des distances égales du miroir, leurs images au-dessus de L, seraient aussi toutes à des distances égales de sa surface : car puisque a est égal pour tous ces points, la formule donnerait aussi des valeurs égales pour α Ainsi la troisième supposition faite à l'art. 10 (pag. 325), se trouve suffisamment démontrée.

2.° Si l'on représente l'objet, ainsi que nous avons fait ci-dessus, par une ligne droite perpendiculaire à l'axe, l'image sera aussi une ligne droite perpendiculaire à l'axe. Alors on peut nommer a la distance de *l'objet entier*, et non pas seulement celle d'un point rayonnant, et α sera de même la distance de toute l'image. Pour cette valeur des lettres a et α, la formule $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ reste toujours exacte.

§ 22. *Remarques.* 1.° La dernière observation nous fournit, entre autres, un moyen commode pour trouver *la distance focale* d'un miroir concave. On place devant le miroir la flamme d'une bougie à une distance telle, qu'il s'en forme une image distincte sur un carton blanc ou sur une muraille à une certaine distance : alors on mesure la distance de l'objet et de l'image au miroir, et on obtient a et α; de sorte que l'on peut ensuite trouver p au moyen de la formule.

2.° Tous les calculs d'Optique deviennent très-difficiles et très-compliqués, si on veut leur donner une exactitude absolument rigoureuse : mais, pour la pratique, cette rigueur n'est pas nécessaire, lorsqu'il s'agit d'instrumens d'optique qui doivent donner des images très-précises; car, pour obtenir cette netteté, il faut donner aux miroirs et aux verres une largeur peu considérable, relativement à leur distance focale, ce qui justifie toutes les approximations que nous nous sommes permises. Quant aux instrumens desquels on n'attend pas une exacte précision, le manque de rigueur se justifie de soi-même.

CHAPITRE XLII.

De la Réfraction de la lumière dans les corps transparens, ou premiers principes de la Dioptrique.

§ 1. Tous les fluides aériformes, la plupart des liquides, et beaucoup de corps solides, sont transparens : peut-être même n'est-il aucun corps qui ne se laisse traverser jusqu'à un certain degré par la lumière ; puisque l'or lui-même, qui est si opaque et si dense en grande masse, paraît avoir une espèce de transparence, lorsqu'il est réduit à ces feuilles minces qu'en fabriquent les batteurs d'or. La plupart des corps transparens laissent passer la lumière sans l'altérer, c'est-à-dire, sans changer la couleur qu'elle avait avant d'y pénétrer; mais beaucoup d'entre eux ne transmettent que certaines couleurs de la lumière, et par cette raison ils paraissent colorés. Il y a même des corps qui réfléchissent une couleur et en laissent passer une autre. Tels sont, par exemple, les feuilles d'or, la teinture de tournesol, le verre blanc de lait, lorsqu'il est très-mince, etc.

§ 2. Pour que les corps solides et liquides soient parfaitement transparens, il faut que leurs surfaces soient exactement polies : cette condition se trouve toujours remplie naturellement dans les liquides, par le seul effet de la pesanteur, qui rend leur surface parfaitement plane; elle l'est aussi jusqu'à un certain point dans les corps solides cristallisés. Cependant ce n'est en général qu'avec le secours de l'art, qu'on parvient à polir des surfaces avec toute l'exactitude nécessaire. (*) Lorsqu'un corps transparent n'est pas poli, il laisse,

(*) Nous nous en rapportons à nos sens pour juger de ce poli : il est pourtant vrai de dire qu'une semblable surface doit présenter des pores, c'est-à-dire, des enfoncemens et des saillies intermédiaires qui, par rapport à l'extrême ténuité des molécules de la lumière, doivent être énormes : il est donc impossible d'imaginer qu'un rayon lumineux puisse se réfléchir régulièrement sur une surface aussi inégale. C'est pourquoi tous les physiciens ont admis que la lumière se réfléchissait avant d'arriver au contact des corps réfléchissans;

à la vérité, passer la lumière; mais en même temps il la disperse irrégulièrement dans tous les sens, et l'on ne peut pas voir distinctement à travers sa substance.

Parmi les corps transparens, le plus grand nombre réfracte *simplement* la lumière; c'est-a-dire que les faisceaux de rayons lumineux ne se désunissent pas en les traversant; mais il est d'autres corps qui séparent les rayons en deux faisceaux distincts; de ce nombre sont toutes les substances cristallisées dont la forme primitive n'est ni un cube, ni un octaèdre régulier : ce phénomène se nomme la *double réfraction.* Nous ne considérons ici que la réfraction simple, comme étant la plus commune, et celle dont la théorie est la plus facile. Il faudra chercher dans des ouvrages plus étendus la théorie de la double réfraction dont la véritable loi, d'abord découverte par *Huygens*, a été mise en évidence dans ces derniers temps (1).

Loi de la Dioptrique.

§ 3. Tous les phénomènes qu'on observe au moyen des corps transparens qui réfractent simplement la lumière, se trouvent expliqués par la loi suivante :

Lorsqu'un rayon lumineux passe obliquement d'un milieu transparent dans un autre, il s'écarte de sa direction primitive, et subit une réfraction : si, par le point d'incidence où le rayon rencontre le second milieu, on conçoit une ligne perpendiculaire à la surface réfractante, le rayon, en se réfractant, s'approchera de cette perpendiculaire, si le milieu où il entre est plus dense que celui qu'il quitte, et, au contraire, s'il est plus rare, il s'en écartera.

Pour donner à cette loi la rigueur mathématique, supposons que

---

les uns supposant que les surfaces de ces corps sont enduites d'une couche de lumière uniforme et parfaitement élastique, pour réfléchir les molécules lumineuses qui viennent les frapper; les autres admettant dans les corps une force de répulsion qui commence à agir sur la lumière incidente avant qu'elle soit arrivée au contact, et qui ne le permet jamais. Cette dernière opinion qui ne préjuge rien sur la cause de cette répulsion, est la plus généralement adoptée.

(1) On en trouvera l'exposition abrégée dans les additions placées à la fin de l'Optique.

A, (*fig.* 86), est le point où le rayon de lumière passe d'un milieu dans un autre, soit que la suface qui sépare les deux milieux se trouve plane, comme BC; ou convexe, comme DE; ou enfin concave, comme FG; supposons que le milieu plus rare soit au-dessus d'elle, et le milieu plus dense au-dessous, et que le rayon incident soit HA : si l'on élève en A la perpendiculaire IAK au point d'incidence, et que l'on imagine un plan mené par IAK et AH, le rayon réfracté reste bien aussi dans ce plan, mais de sorte que l'angle KAL qui est dans le milieu plus dense, se trouve plus petit que l'angle HAI qui est dans le milieu plus rare. En prenant A pour centre et un rayon arbitraire, on décrit le cercle HILK; des points H et L où le rayon incident et le rayon réfracté coupent sa circonférence, on mène les lignes HM et LN perpendiculaires à la verticale IAK : les expériences ont appris que ces deux lignes HM et LN ont toujours des rapports invariables, pour toutes les directions d'incidence, les deux milieux où la lumière se meut, restant les mêmes.

Dans un triangle rectangle dont l'hypoténuse et supposée égale à 1, les deux autres côtés exprimés en nombres, c'est-à-dire, en parties de cette hypoténuse, s'appellent les sinus des angles qui leur sont opposés. On peut ici, puisque la grandeur du rayon AK est arbitraire, la supposer égale à l'unité : alors HM sera le sinus de l'angle HAI, ou le *sinus d'incidence*, et LN sera le sinus de LAK, ou *le sinus de réfraction;* et la loi de la réfraction pourra s'exprimer brièvement ainsi :

Lorsqu'un rayon passe d'un milieu dans un autre, il est réfracté de manière que le sinus d'incidence et celui de réfraction sont entre eux dans un rapport constant.

Ce rapport se nomme *le rapport de réfraction*. On a coutume d'appeler les angles HAI et LAK, du nom du milieu où ils sont; *l'angle dans l'air, dans l'eau, dans le verre*, etc.

§ 4. Parmi les expériences qui se font d'après cette loi, la plus facile à comprendre, sinon la plus exacte, est celle qui suit : un cube de verre ABDC, (*fig.* 87), est placé sur deux planchettes jointes à angles droits, ainsi que les représentent les lignes EC et CI : elles doivent être plus larges que le cube. Si l'on expose cet appareil à la lumière du soleil, de manière que le rayon lumineux tombe dans la direction GH, ce rayon GH sera réfracté en HK dans le verre; mais à

côté du verre, il poursuivra dans sa direction primitive, jusqu'en F : l'ombre de la planchette CE se prolongera donc jusqu'en K dans le verre, et jusqu'en F, au-dehors. Maintenant, si l'on mène par H la verticale incidente LHM, on voit aisément que l'angle FHM est égal à l'angle dans l'air GHL, et que KHM est l'angle dans le verre. Si l'on mesure la longueur de l'ombre au-dedans et au-dehors du verre, on peut trouver les deux angles ou par le calcul, ou en les construisant : ensuite si l'on fait tomber la lumière sous différens angles, et qu'on trace une figure pour chaque cas, on peut marquer les sinus des angles et trouver leurs rapports au moyen d'une échelle exacte, ce qui donne la vérification de la loi énoncée.

Ces expériences peuvent être faites plus exactement avec un prisme de verre; mais, pour être comprises alors, elles exigent une plus grande connaissance de la théorie, que celles que nous pouvons supposer ici.

§ 5. Avant le milieu du dix-septième siècle, les physiciens croyaient que les angles eux-mêmes, et non pas les sinus, avaient entre eux un rapport constant. Ce fut un Hollandais nommé *Snellius*, qui rectifia le premier cette idée, et fit connaître le principe exact. Cependant, lorsque les angles IAH et LAK, (*fig.* 86), sont fort petits, on peut, sans inconvénient, attribuer ce rapport aux angles eux-mêmes, puisqu'ils sont sensiblement proportionnels à leurs *sinus* : par exemple, comme on n'a jamais de grands angles dans des instrumens de Dioptrique, très-exacts, on peut admettre le rapport des angles comme constant pour les calculs dioptriques relatifs à ces instrumens.

§ 6. Relativement aux détails de la loi précédente, on doit encore observer les circonstances suivantes :

1.° Si un rayon tombe perpendiculairement comme IA, (*fig* 86), il passe sans être réfracté : dans tous les autres cas, il se réfracte, et d'autant plus fortement, qu'il tombe d'une manière plus oblique.

2.° Un rayon de lumière prend la même direction entre deux milieux, soit en y pénétrant, soit en sortant, toutes les autres circonstances étant d'ailleurs égales : c'est-à-dire, que si LA était un rayon incident, AH serait le rayon réfracté.

3.° A chaque réfraction, il se fait toujours une réflexion à la surface polie, soit que le rayon passe du milieu le plus dense dans le milieu le plus rare, ou réciproquement; c'est-à-dire, que si le rayon

est rompu en A, une partie est réfléchie d'après la loi de la Catoptrique, et l'autre partie est réfractée d'après la loi de la Dioptrique. Plus le rayon incident tombe obliquement, plus la partie réfléchie est considérable, et plus, par conséquent, la partie réfractée est faible; car toutes les surfaces polies réfléchissent bien plus fortement la lumière, dans les directions obliques, que lorsque le rayon tombe perpendiculairement sur la surface. Même, lorsque leur rayon sort d'un milieu plus dense pour entrer dans un plus rare, il existe une limite, à compter de laquelle il ne peut y avoir aucun angle de réfraction dans l'autre milieu, parce que le sinus de cet angle serait plus grand que l'unité, ce qui est impossible; et alors toute la lumière est réfléchie. Dans un verre plein d'eau, on peut voir aisément que non-seulement la surface supérieure réfléchit, mais encore la surface inférieure, et que celle-ci réfléchit plus fortement que la première, sur-tout lorsqu'on regarde très-obliquement.

4.° Enfin, il se fait encore à chaque réfraction un changement remarquable dans la lumière : nous allons seulement le rapporter ici, et par la suite nous le détaillerons avec plus d'exactitude. Le rayon lumineux n'est plus une simple ligne droite après la réfraction; mais il s'élargit en forme pyramidale, et chaque point de sa largeur offre une couleur différente : cependant cette expansion est très-faible pour un seul rayon réfracté, sur-tout dans le voisinage de la surface réfractante. Nous négligerons cette circonstance dans ce chapitre, et nous représenterons le rayon réfracté par une seule ligne droite.

5.° Les corps plus denses réfractent la lumière plus fortement que les corps plus rares. Cependant le pouvoir réfringent ne dépend pas seulement de la densité, mais aussi des propriétés chimiques des corps. Ainsi, on a observé que les corps combustibles réfractent la lumière plus fortement que les non-combustibles : on ne connaît cependant ce résultat que d'une manière si imparfaite, qu'on ne peut trouver la force de réfraction de chaque corps que par des expériences immédiates (1).

---

(1) Nous avons fait, il y a quelques années, sur cet objet, M. *Arago* et *moi*, un très-grand nombre d'expériences avec le cercle répétiteur, et nous avons trouvé que c'est l'hydrogène qui donne aux huiles, aux résines et aux autres substances que l'on nomme combustibles, leur grande force réfringente. Nous avons trouvé

6.° Les rapports de réfraction les plus intéressans, sont ceux qui existent entre l'air et le verre, et entre l'air et l'eau. Le rapport de réfraction entre l'air et le verre commun, est environ de 3 : 2, ou plus exactement de 17 : 11 ; entre l'air et le crown-glass anglais, il est de 1,55 : 1 ; entre l'air et le flint-glass, de 1,58 : 1 ; entre l'air et l'eau, à-peu-près de 4 : 3. On trouve plusieurs autres rapports de réfraction dans *Gehler*, I, 431 ; *Fischer*, I, 447.

Phénomènes généraux qui dépendent de la réfraction de la Lumière.

§ 7. Si la lumière n'était ni réfractée ni réfléchie par les corps transparens, ceux qui sont parfaitement diaphanes et incolores, seraient invisibles pour nous : on ne peut les voir qu'à cause de la réflexion qui se fait à leurs surfaces, et par la différence de direction que prend la lumière qui les traverse, après qu'elle s'y est réfractée. De cette manière on peut même distinguer deux fluides incolores qui, sans se mêler, se trouvent réunis dans un même vase : par exemple, une huile sans couleur et de l'eau, de l'éther et de l'eau, etc. L'air est invisible en petites masses, parce que les réfractions et les réflexions y sont insensibles.

Lorsqu'un corps visible se trouve dans un autre milieu transparent que celui où est l'œil, sa position apparente subit, dans la plupart des cas, un changement par la réfraction de la lumière.

Soit A, (*fig.* 88), un point visible au fond d'un vase plein d'eau BAC : un rayon AD qui tombe verticalement sur la surface de l'eau, la pénètre sans être réfracté, mais c'est la seule direction dans laquelle on voit le point à la place où il est réellement. Le rayon AE qui perce la surface de l'eau sous un angle aigu, est réfracté dans l'air et s'éloigne davantage de la perpendiculaire incidente qu'on pourrait mener par E : il continue donc à travers l'air, comme s'il venait du point plus élevé *a*, et alors un œil qui se trouve dans le prolonge-

---

aussi que le pouvoir réfringent d'un composé, est formé des pouvoirs réfringens de ses composans, dans la proportion de leurs masses, lorsque la combinaison des substances n'a pas changé leur état d'aggrégation ; en sorte que l'on peut, d'après cette loi, calculer d'avance, d'une manière assez approchée, les pouvoirs réfringens des corps, et en déduire quelques notions sur la nature et les proportions de leurs principes. (*Voyez* les *Mémoires de l'Institut*, tom. 7.)

ment du rayon EF, doit voir le point A sur la direction EF, c'est-à-dire, en *a*.

Ce qui vient d'être dit de A, est applicable à tous les autres points du fond du vase; ainsi toute cette partie du vase doit paraître plus élevée qu'elle ne l'est. Si un bâton droit GHA est enfoncé dans l'eau, la partie qui plonge, paraîtra brisée, parce que chacun des points qui la composent, doit paraître plus élevé qu'il ne l'est réellement.

Si l'œil était en A, et qu'il regardât un objet situé dans la ligne EF, il ne le verrait pas dans sa vraie direction, mais dans le prolongement de la ligne AE.

Nous nous trouvons dans une situation semblable relativement aux astres; et les astronomes ont depuis long-temps observé que les étoiles qui ne sont pas au zénith, paraissent plus éloignées de l'horizon qu'elle ne le sont réellement. C'est ce qu'on appelle la *Réfraction astronomique* (1).

Phénomènes particuliers qui se produisent au moyen des verres polis.

§ 8. Les verres polis donnent lieu à des phénomènes trop importans, pour que nous puissions négliger d'en parler. Il y a deux espèces de verres que nous devons examiner ici; ce sont ceux dont les faces sont planes et parallèles, et ceux dont les faces sont des portions de sphère. Dans un des chapitres suivans, nous parlerons des verres dont les surfaces sont planes, mais inclinées les unes par rapport aux autres, c'est-à-dire, des verres prismatiques.

Des verres plans à faces parallèles.

§ 9. Soient ABCD, (*fig.* 89), le profil d'un verre de cette espèce, et EF un rayon lumineux qui tombe sur sa surface antérieure : qu'on élève au point d'incidence F, la perpendiculaire GH; le rayon sera réfracté dans le verre en F, et prendra la direction FI. Qu'on élève en I, au point d'émergence, une seconde perpendiculaire KIL qui sera parallèle à la première, le rayon sera de nouveau réfracté dans l'air, à partir du point I, et se prolongera dans la direction IM. On voit aisément que IM est parallèle à EF; car, puisque les deux an-

---

(1) Relativement à ce phénomène et à la manière dont on le mesure, voyez l'*Astronomie* de *Biot*, 2.e édit., tom. I.

gles dans le verre HFI et FIK sont égaux, les angles dans l'air EFG et LIM doivent aussi être égaux.

Par la réfraction dans de semblables verres, tous les rayons émergens restent de même parallèles aux rayons incidens : ainsi l'on doit voir à travers un tel verre, précisément comme s'il n'y en avait point; seulement quand on regarde très-obliquement, les objets doivent un peu changer de place, mais sans jamais varier de grandeur ni de situations respectives. Dans tous les autres cas, la direction du rayon est si peu déviée, qu'on peut considérer sa réfraction comme nulle.

Des verres sphériques ou lenticulaires.

§ 10. Les diverses sortes de microscopes et de télescopes sont des instrumens indispensables pour le physicien : ils consistent tous en verres dont les faces sont des portions de sphère. Pour concevoir exactement l'effet des instrumens d'optiques composés, on doit nécessairement connaître d'abord les propriétés des verres simples dont ils sont formés.

§ 11. Quoique la forme des verres sphériques puisse être variée beaucoup plus que celle des miroirs, on peut cependant, en ne considérant que leurs propriétés essentielles, les rapporter à deux espèces, les *verres convexes* ou de *convergence*, et les *verres concaves* ou de *divergence*. On divise ensuite chacune de ces deux espèces ainsi qu'il suit :

Les verres de convergence sont :

1.° *Doublement convexe*, ainsi que la *fig.* 90 l'indique. La forme de ce verre est lenticulaire, et par cette raison on a coutume d'appeler verres *lenticulaires* ou *lentilles*, tous ceux de ce genre, et même tous les verres sphériques, particulièrement les plus petits.

2.° *Plan-convexe*, comme dans la *fig.* 91.

3.° *Concave-convexe*, ainsi qu'on le voit dans la *fig.* 92. Le mot convexe doit être placé le second, pour marquer que la convexité est plus forte ici que la concavité. On nomme ces verres *ménisques*, à cause de la forme de leur profil.

Les verres de divergence sont :

1.° Ou *doublement concave* (*fig.* 93);

2.° Ou *plan-concave* (*fig.* 94);

3.° Ou *convexe-concave* (*fig.* 95). On a aussi coutume d'appeler

ménisques ces verres dont la forme exige qu'on mette le mot concave le dernier.

§ 12. Par rapport à tous ces verres, on doit remarquer en général ce qui suit :

1.° On donne à leurs faces la forme sphérique, par la même raison qui a déterminé ce choix pour les miroirs (p. 320, § 3).

2.° On nomme rayons de courbure des verres, les demi-diamètres des sphères dont ces verres sont des segmens.

3.° Pour que l'on puisse voir distinctement à travers ces verres, il faut que leurs surfaces, de même que celles des miroirs, ne soient pas de grandes portions de sphère. On peut établir pour limite de leur étendue, que l'arc du segment soit, au plus, égale à la moitié du rayon de courbure.

4.° Dans le milieu d'un verre de cette espèce, il y a un point C, (*fig.* 90—95), où les deux faces opposées sont parallèles : ce point s'appelle le *centre optique* du verre. Une ligne DE, menée par ce point perpendiculairement aux deux faces, s'appelle *l'axe du verre* : c'est sur cette ligne que se trouvent les *centres géométriques* des deux faces; c'est-à-dire, les centres F et G des sphères dont ces faces sont des segmens.

Lorsque le centre optique et le point d'intersection de l'axe sont exactement au milieu du contour extérieur, on dit que le verre est exactement centré; c'est une qualité essentielle pour les usages optiques. L'égale épaisseur de la circonférence extérieure, indique cette propriété, mais non pas avec toute l'exactitude nécessaire. La marque la plus certaine, c'est que les objets ne changent point de position apparente, lorsqu'on les considère en faisant mouvoir le verre circulairement dans un plan perpendiculaire à son axe.

Lorsqu'on veut employer ces verres, on a coutume de couvrir une portion de leurs bords par un anneau d'une matière opaque, et l'on nomme *ouverture* du verre, le diamètre intérieur de cet anneau.

5.° On nomme toujours *surface antérieure* du verre, celle qui est tournée vers l'objet qu'on regarde, et *surface postérieure*, celle qui est tournée vers l'œil.

6.° Tous les verres de convergence, produisent essentiellement des phénomènes semblables : il en est de même de tous les verres de divergence comparés les uns aux autres. Dans les diverses circonstances,

ces différentes espèces peuvent avoir quelqu'avantage; mais c'est ce qu'on ne peut déterminer, ni même concevoir clairement sans connaissances mathématiques. En général, les verres double convexes ou double concaves, sur-tout lorsque leurs courbures sont symétriques, sont préférés, parce qu'ils ont, proportionnellement, les plus grandes ouvertures.

7.° L'expérience a prouvé que le verre de miroir ordinaire, d'une couleur un peu verdâtre, est le meilleur de tous les verres optiques. Le cristal tout-à-fait incolore, et sur-tout le flint-glas anglais, sont employés seulement pour des objets particuliers.

Phénomènes produits au moyen des verres de convergence.

§ 13. Lorsqu'on expose un verre convexe, ou de convergence au soleil, et qu'on reçoit sur une surface blanche, la lumière qui se transmet à travers lui, cette lumière se réunit dans un certain espace dont l'étendue varie avec la position de la surface. Si celle-ci se trouve d'abord très-près du verre, et qu'on l'en éloigne peu-à-peu, l'espace lumineux devient de plus en plus petit : c'est de là que vient la dénomination de *verre de convergence*. On arrive ainsi à un point où la lumière occupe le moins d'espace possible, et au-delà elle devient divergente.

Ce point se nomme le *foyer*; et sa distance à la surface du verre la plus voisine, est la *distance focale*.

Si l'on retourne le verre, le même phénomène a lieu. Un verre de convergence a donc deux foyers, et ils sont également distans des deux surfaces, si celles-ci ont le même rayon. Pour les verres dont les faces ne sont pas symétriques, sur-tout pour les ménisques, ces distances sont différentes, mais d'une quantité à peine ensible.

§ 14. On appelle verre ardent, un verre convexe d'une étendue considérable, comme de deux ou trois pieds, et dont la distance focale est égale à l'*ouverture*, ou du moins ne la surpasse que d'une très-petite quantité. Les effets d'un tel verre sont d'autant plus intenses, que sa surface est plus étendue, et que l'espace où se réunit la lumière est moindre. Si le foyer est trop éloigné du verre, cet espace est très-grand, et par là même de peu d'effet. On a coutume, dans ce cas, de placer à quelque distance, un second verre convexe

qu'on nomme un verre collecteur, et qui rassemble la lumière dans un espace plus resserré.

Les effets des verres ardens sont aussi remarquables que ceux des miroirs ardens (pag. 323, § 7) : on trouve beaucoup de détails sur les expériences où on les emploie, dans les Dictionnaires de Physique, aux articles *Brenngläser* et *Brennspiegel*.

§ 15. La distance focale d'un verre symétriquement *double convexe*, est égale au rayon de ses deux surfaces, ou plutôt à $\frac{11}{12}$ de ce rayon : pour un verre *plan-convexe*, elle est égale au double du rayon, ou plus exactement à $\frac{11}{6}$. On démontrera, dans les additions mathématiques qui sont à la fin du chapitre, quelle est sa valeur relativement aux rayons des verres non symétriques.

§ 16. Les autres propriétés des verres convexes, ont la plus grande ressemblance avec celles des miroirs de convergence, (pag. 324, § 9), et l'on peut les rendre sensibles plus facilement encore, au moyen d'une bougie allumée, placée dans une chambre obscure.

1.° Lorsqu'on met la flamme au devant du verre, en deçà de la distance focale, l'œil placé de l'autre côté du verre, voit l'image de cette flamme grossie, droite et assez éloignée. La grandeur et l'éloignement augmentent à mesure qu'on recule la lumière.

2.° Si l'on place la flamme dans le foyer même, on ne trouve nulle part son image distincte, mais on apperçoit seulement une lueur vive qui consiste en grande partie en rayons parellèles, et qui se continue derrière la lentille, de manière à éclairer des objets éloignés.

3.° Enfin, si l'on porte la flamme à une certaine distance au-delà de la distance focale, on en voit une image grossie, et renversée sur la paroi opposée. A mesure qu'on éloigne davantage la flamme, cette image s'approche du foyer postérieur du verre, et devient plus petite : si la flamme est placée à une distance double de la distance focale, l'image se trouve à la même distance, et elle a la même dimension que la flamme elle-même. Si on éloigne la flamme davantage, l'image se rapproche et devient plus petite ; et si l'objet est très-éloigné, elle tombe enfin dans le foyer lui-même. Ainsi l'espace *caustique* dans lequel un verre ardent brûle, n'est autre chose qu'une petite image du soleil qui se forme à son foyer. Si l'on ne recueille pas sur un carton blanc ou sur un verre dépoli, les images qui se forment ainsi dans les circonstances précédentes, un œil placé à la

distance convenable, les voit voltigeant dans l'air libre. Cependant l'imagination, par des raisons faciles à concevoir, est portée à les placer non pas là où elles sont réellement, mais dans le verre lui-même, ou plutôt sur sa face opposée.

§ 17. Autant qu'on peut concevoir ces phénomènes sans le secours des mathématiques, on comprend qu'ils ne diffèrent pas essentiellement de ceux que nous avons décrits pag. 325, §§ 10, 11. Nous allons de même ici supposer les données théoriques d'après lesquelles on pourra déterminer, au moyen d'une construction facile, le phénomène qui doit avoir lieu dans chaque cas. Pour faciliter cette construction, il est à remarquer qu'un rayon qui passe par le centre optique C, (*fig.* 90—95), doit être considéré comme non réfracté : pour les rayons qui font de petits angles avec l'axe, cela est clair d'après la position des surfaces du verre en C; car, puisqu'elles sont ici parallèles, le rayon qui y passe, doit être réfracté comme dans le verre plan à faces parallèles (pag. 340, § 9).

§ 18. D'après ces observations préliminaires, les *fig.* 96—98 ne demandent pas beaucoup d'explication. AB est le profil d'un verre convexe; C est le centre optique; DE l'axe; D le foyer antérieur, E le foyer postérieur; FHG l'objet rayonnant.

1.° Dans la *fig.* 96, l'objet est au milieu H de la distance focale antérieure DC ; de son point le plus élevé F, un rayon FA parallèle à l'axe, tombe sur le verre, et est réfracté vers le foyer postérieur E; un deuxième rayon FCI, passe sans être réfracté, par le centre optique ; les rayons AE et CI divergent après le passage, et, s'ils sont prolongés du côté opposé, ils se coupent en *f*: c'est donc de ce point que paraissent venir, après le passage dans le verre, tous les rayons qui partent de F. Un œil placé derrière le verre, voit en *f* l'image du point F, et, au lieu de l'objet FG, il verra l'image *fg* (§ 16, n.° 1.)

2.° La *fig.* 97 représente l'objet FG placé au foyer antérieur D; le rayon parallèle FA est réfracté vers E, tandis que le rayon FC passe sans être réfracté; mais comme les lignes CE et FA sont égales et parallèles parce que CE=CD=FA, il s'ensuit que CFAE forme un parallélogramme, et les rayons AE et CI sont parallèles après le passage dans le verre (§ 16, n.° 2). Il en est de même de tous les rayons qui partent du point F.

3.° Dans la *fig.* 98, l'objet FG est plus loin que la distance focale antérieure DC; le rayon parallèle FA est réfracté vers E; le rayon FC*f* passe sans être réfracté; AE et C*f* convergent après le passage, et leurs prolongemens se coupent en *f*; tous les rayons venant de F se réunissent à ce point, et il se produit en *fg* une image renversée de l'objet entier (§ 16, n.° 3).

D'après l'exemple de ces figures, il ne sera pas difficile de construire les sous-divisions particulières au troisième cas, soit quand l'objet est justement au centre de courbure, soit quand il est à une distance beaucoup plus grande au devant du verre.

§ 19. On peut déjà faire d'un seul verre de convergence, un usage très-utile et assez varié.

1.° L'effet que produisent les lunettes ordinaires, ou *besicles*, s'explique par la construction de la *fig.* 96. Ce sont des moyens de réparer un des défauts de la vue, occasionné le plus souvent par l'âge, c'est-à-dire le *presbytisme* (pag. 313 et 314, § 3), qui fait que la distance de la vision distincte, est tellement éloignée, qu'on ne peut voir les objets auxquels on travaille, que d'une manière confuse : les lunettes donnent la possibilité d'en voir les images à la distance requise. Pour déterminer la distance focale convenable pour des besicles, il faut avoir égard : 1.° à la distance de la vision distincte; 2.° à l'éloignement auquel on s'est accoutumé à tenir les livres ou les objets pour les voir commodément. Par cette raison, presque tous les yeux exigent une distance focale différente. Les lunettes qu'on nomme *conserves*, ont leur foyer à un éloignement de 16 à 20 pouces : on doit commencer par se servir de celles-là, et ne passer que fort lentement aux distances focales plus courtes, afin de conserver sa vue aussi long-temps que possible.

Nous allons faire ici une remarque importante qui est applicable à toutes les espèces de verres simples et d'instrumens d'optique composés. En regardant à travers un verre, l'œil éprouve presque toujours une certaine tension extraordinaire qui peut devenir très-préjudiciable à ce précieux organe. Nous avons dit ci-dessus (pag. 316 et 317 §§ 10 et 11, que nous ne sentons pas immédiatement la distance des objets, mais que nous la déterminons par le jugement. Lorsque nous voyons avec des verres, nous manquons de presque tous les moyens qui servent à régler le jugement exact de la distan-

ce et de la grandeur de l'image (pag. 316 et suivantes, §§ 8-14), et communément l'imagination place l'image à une fausse distance; l'œil se dispose aussi pour cette fausse distance (pag. 313, § 3), et de cette contradiction entre le véritable éloignement duquel viennent les rayons réfractés et celui qui est supposé par l'imagination, il doit se composer un certain état non naturel à l'œil. Cette observation explique beaucoup de phénomènes singuliers que produit l'usage des verres, et aussi la différence des jugemens que portent diverses personnes sur la grandeur et la distance des objets qu'elles voient au travers d'un instrument d'Optique : mais ne pouvant traiter cette matière plus longuement, à cause des limites que nous nous sommes fixées, nous nous contenterons de faire remarquer que, pour ne pas gâter sa vue en se servant de verres, il faut d'abord apprendre à *voir* avec le secours de ces instrumens.

§ 20. 2.° Les effets des verres de grossissement simples, reposent sur les mêmes principes. On peut se convaincre facilement, en considérant la *fig.* 96, que l'image *fg* est plus grande et plus éloignée, quand la distance focale est plus petite, et par conséquent, qu'un verre grossit d'autant plus, que sa distance focale est moindre (*). Les verres grossissans qui ont depuis six lignes jusqu'à quelques pouces de distance focale, se nomment des *Loupes*; quand cette distance est moindre que six lignes, on les appelle *Microscopes simples*, ou *Lentilles microscopiques*.

Comme il faut toujours que l'image soit à la distance de la vision distincte, c'est-à-dire à huit pouces environ au-devant du verre, on conçoit, par la seule inspection de la *fig.* 96, qu'il faut toujours que l'objet FG soit très-près du foyer D, si l'image *fg* doit être éloignée du verre de seize fois sa distance réelle, ou davantage. Pour l'usage du microscope, l'objet doit être presqu'au foyer (§ 16, 3). D'après cette remarque, on a un moyen facile d'estimer le grossissement d'un microscope : car, à cause de la similitude des triangles FHC et *fh* C, l'objet FH est à l'image *fh*, comme la distance HC de l'objet, est à la distance *h*C de l'image. Ainsi (en observant que 8 pouces

(*) C'est ce dont on s'assurera, en rapprochant les foyers D et E du centre C, et répétant la même construction.

$=96$ lignes), on aura

$$96^l : 6^l = fh : FH = Ch : CH;$$

c'est-à-dire,

$$16 : 1 = Ch : CH, \text{ d'où } Ch = 16\,CH \text{ et } fh = 16FH. \ (*)$$

§ 21. Il y a encore deux choses à remarquer à l'égard du grossissement.

1.° Puisque la distance de la vision distincte, diffère presque pour tous les yeux, et que, de plus, d'après la remarque faite à l'article précédent, beaucoup d'illusions d'Optique influent sur le jugement que nous portons de la distance, il doit y avoir une grande différence dans la grosseur que chaque personne attribue au même objet.

2.° Le nombre représentatif du grossissement que donne la règle ci-dessus, indique seulement l'amplification du diamètre d'un objet. Si l'on veut connaître l'amplification de sa *surface*, on doit prendre le carré de chaque nombre; si l'on veut avoir le grossissement du *corps entier* dans les trois dimensions, on doit élever le même nombre au cube. Un microscope dont la distance focale est de 0,1 pouce, grossit

Le diamètre............	80 fois.
La surface.............	6400
Le corps...............	512000

Le dernier nombre étant le plus fort, c'est celui dont on se sert ordinairement pour indiquer le grossissement d'un microscope; mais, au moyen de cette exagération, on est étonné qu'avec un microscope qui grossit un demi-million de fois, le diamètre ne paraisse que quatre-vingts fois plus grand. Dans les lunettes à longue vue, ou *Télescopes*, on se sert de la dénomination plus juste que donne l'amplification du diamètre.

La monture d'un microscope simple, peut être infiniment variée. (*Voyez Gehler* et *Ficher*, article *Microskop*.)

§ 22. 3.° L'effet du *Microscope solaire* se rapporte au phénomène expliqué par la *fig.* 98. Si l'on place FG au-de-là du foyer D, on voit que l'image *fg* s'eloigne et devient plus grande : il n'est même aucun degré

(*) L'œil placé en E, verra l'objet FG en $fg = 16$ FG.

de grossissement auquel cette image ne puisse atteindre. Par conséquent, si l'on applique une petite lentille de verre dans un volet de la fenêtre d'une chambre très-obscure, et qu'on place un petit objet renversé un peu au-delà de la distance focale CD, il se produit, à un certain éloignement derrière le verre, une image de cet objet qu'on peut recueillir sur un tableau blanc et bien uni. Cette image est droite et grossie; mais on conçoit que la lumière qui la colore, serait extrêmement faible, et d'autant plus que l'image serait plus grande, si l'on n'éclairait pas l'objet par tous les moyens possibles: il ne suffit pas de l'éclairer immédiatement par la simple lumière du soleil; on a soin de réunir cette lumière avec un verre de convergence, pour la concentrer presque toute au foyer. La grandeur de l'objet est alors à la grandeur de l'image, comme CH à C*h*, c'est-à-dire, comme la distance focale de la lentille est à l'éloignement du tableau. Le microscope solaire offre cet avantage, que plusieurs personnes peuvent voir l'image en même temps, et que l'on peut ainsi dessiner très-commodément la figure de l'objet; mais cet instrument n'a jamais la précision d'un microscope simple, et les images qu'il donne, sont d'autant plus indistinctes, qu'elles sont plus grandes, c'est-à-dire qu'on les recueille à une distance plus considérable.

Ce microscope ne peut servir que pour les corps transparens, parce que l'objet n'est pas assez éclairé du côté du verre; mais cette condition ne restreint pas beaucoup son usage, puisque presque tous les corps sont transparens lorsqu'ils sont réduits en lames très-minces.

On trouve dans les *Dictionnaires de Physique*, la description de l'appareil particulier d'un microscope solaire.

§ 23. Dans la *Chambre noire*, les images des objets éloignés sont produites par un verre de convergence un peu grand, comme le montre la *fig.* 98, et ces images sont reçues immédiatement sur un carton blanc, ou sur un plateau de verre dépoli; ou bien elles sont réfléchies vers le haut, ou vers le bas, par un miroir plan placé à quelque distance derrière le verre, et qui fait avec lui un angle de quarante-cinq degrés, de sorte que ces images peuvent être recueillies sur un plan horizontal. On peut voir les différentes manières de construire cet instrument, dans les *Dictionnaires* de *Physique* de *Gehler* et de *Fischer*, article *Zimmer verfinstertes*, et dans d'autres ouvrages d'Optique. Les paysages se représentent d'une manière

très-agréable dans la chambre noire, et le peintre peut s'en servir avec avantage; mais, pour que son tableau soit vrai, il ne doit pas imiter les contours tranchés et l'extrême précision de l'image.

§ 24. Nous allons encore parler ici de quelques instrumens composés de deux verres de convergence, et qui ont du rapport avec les précédens.

3.° La *Chambre claire* consiste en une boîte quadrangulaire au-devant de laquelle est placé un verre convexe de quelque étendue; derrière celui-ci se trouve dans la boîte un miroir plan placé sous un angle de quarante-cinq degrés, et qui réfléchit vers le couvercle les images d'objets éloignés, qui, sans lui, auraient été peintes sur la paroi postérieure : devant le miroir plan, on pratique une ouverture à laquelle on adapte un second verre de convergence, au travers duquel on voit l'objet comme avec une loupe. (*Voyez Gehler*, IV, 867, *Fischer*, V, 736.)

4.° Dans la *Lanterne magique*, il se trouve deux larges verres convexes à peu de distance l'un de l'autre: on fait passer devant le premier, comme en FG, *fig.* 96, une figure peinte sur le verre, dans une situation renversée, placée en deçà de la distance focale, et éclairée aussi fortement qu'il est possible au moyen d'une lampe et d'un miroir de réflexion placés derrière. Comme la petite figure peinte sur le transparent, se trouve en-deçà de la distance focale du premier verre, les rayons, après leur passage dans ce verre, continuent comme s'ils venaient d'une image éloignée, et renversée, telle que *fg* dans la *fig.* 96; le deuxième verre doit être placé au-delà du premier AB, pour recevoir les rayons transmis, et sa situation doit être telle, que l'image *fg* dépasse un peu sa distance focale; alors les rayons sont réfractés dans ce second verre, de manière, à produire comme dans la *fig.* 98, une image éloignée *fg*, que l'on peut recevoir sur un mur blanc : cette image est droite, parce que celle dont elle est la représentation est renversée.

7.° On fait aussi des *loupes composées* de deux verres convexes. L'objet FG est placé très-près devant le premier verre, et les rayons y sont réfractés comme s'ils venaient de l'image éloignée *fg*, *fig.* 96 : tout près, derrière ce verre, il y en a un second dont la distance focale antérieure s'étend encore un peu au-delà de l'image *fg*, et à travers ce dernier verre, on voit cette image, justement comme on voit un objet réel avec la loupe simple.

8.° Les appareils auxquels on attribue particulièrement le nom d'*optique*, consistent en un grand verre convexe dont la distance focale est de 1 ½ pied, à 2 pieds, et à travers lequel on regarde de grands dessins de perspectives. Le dessin étant bien éclairé, doit être placé en-deçà de la distance focale, mais non pas très-loin du foyer; alors on en voit une image éloignée et grossie, à la vérité un peu indistincte, mais qui, par là même, se rapproche davantage de la nature.

§ 25. D'après ce qui précède, on voit qu'il faut d'abord connaître la distance focale d'un verre de convergence, pour pouvoir juger de ses effets. On la trouve de la même manière que celle des miroirs (pag. 327, § 14.)

On expose le verre à la lumière du soleil ou de la lune, et l'on mesure la distance de sa surface à l'image qui se produit à son foyer; ou bien on couvre le verre avec un cercle de papier où l'on a pratiqué deux petites ouvertures, et l'on cherche le point où les rayons se réunissent, après les avoir traversées.

Il faut employer beaucoup d'adresse dans cette opération, lorsqu'on veut déterminer exactement des foyers très-éloignés ou très-rapprochés. Voyez *Klügels Analytiques Dioptrick*, pag. 109: voyez aussi le *Précis de Physique* de *Biot*, tom. II.)

Phénomènes qui se produisent avec les verres de divergence.

§ 26. Les phénomènes produits au moyen de ces verres, sont tout-à-fait analogues à ceux qui ont lieu avec les miroirs convexes.

Si l'on dirige un verre de cette espèce vers le soleil, et qu'on recueille sur une surface blanche la lumière transmise, on voit que cette lumière diverge, comme si elle venait d'un point situé dans la concavité du verre : on nomme ce point le *foyer négatif*, et son éloignement de la surface antérieure, la *distance focale négative*. En retournant le verre, les phénomènes sont les mêmes : un verre de divergence a donc deux foyers négatifs.

Les rayons lumineux transmis à travers un verre de divergence, forment des images droites, qui sont plus rapprochées et plus petites que les objets eux-mêmes. La distance de l'objet n'apporte aucune autre modification à ce phénomène, que de faire paraître l'image un peu plus loin du verre, à mesure que l'objet recule davantage; mais la limite extrême que peut atteindre l'image, est le

foyer antérieur, et c'est où paraissent les objets lorsqu'ils sont à un grand éloignement.

27. Soient AB, (*fig.* 99), un verre de divergence, HD son axe, E et D les deux foyers négatifs, et l'objet FG en H : le phénomène qui a lieu dans ces circonstances, peut être déterminé par la même méthode que nous avons employée pour les miroirs et les verres de convergence. Du point le plus élevé F, qu'on mène le rayon FA parallèle à l'axe; celui-ci est réfracté dans la direction AK, et semble alors venir du foyer E; un deuxième rayon FCL passe par le centre optique, sans être réfracté; les rayons AK et CL divergent donc après le passage dans le verre, comme s'ils venaient du point *f*: c'est donc là le point de réunion dont semblent venir tous les rayons partis de F. Ainsi, en menant *fg* perpendiculaire à l'axe, on a la grandeur et la position de l'image qu'on voit à travers le verre.

§ 28. Ce n'est que pour les *besicles* qu'on emploie isolément les verres de divergence; elles rapprochent les objets éloignés, jusqu'à la distance de la vision distincte des yeux *myopes* (pag. 314), de même que les besicles convexes éloignent les objets trop rapprochés, et les placent à la distance convenable pour les presbytes.

La remarque faite ci-dessus à la fin de l'art. 19 (p. 346), s'applique particulièrement aux besicles concaves. Lorsqu'on voit, par exemple, avec un verre concave dont le foyer est éloigné de dix pouces, l'imagination ne peut s'astreindre à supposer toute l'étendue d'une vaste contrée resserrée dans un espace de dix pouces de rayon; et cependant toutes les images qu'on voit, se trouvent réellement dans cet espace : par cette raison l'imagination les recule toujours trop loin, et l'œil se trouve ainsi dans une tension qui n'est pas naturelle. On doit donc, lorsqu'on fait usage de ces sortes de besicles, commencer par celles dont les distances focales sont considérables, et n'en venir que peu-à-peu à se servir de celles où ces distances sont plus courtes (*).

(*) M. *Wollaston* a proposé des verres appelés *Périscopiques*, de deux mots grecs περὶ, *autour*; σκοπέιο, *regarder*. Les verres de ces lunettes ont une forme bombée du côté de l'objet, et une forme concave du côté de l'œil : il suit de cette disposition que les différens points d'un corps, qui peuvent être vus par les bords d'un tel verre, sont beaucoup moins déplacés qu'ils ne le sont

ADDITIONS MATHÉMATIQUES.

§ 29. L'essentiel de la théorie de tous les verres sphériques, ou, au moins, ce qui est nécessaire pour l'intelligence de tous les phénomènes que nous avons rapportés, se déduit de deux théorèmes dont l'un est relatif à la réfraction d'un rayon qui vient d'un point quelconque de l'axe ; l'autre se rapporte à la réfraction d'un rayon qui vient d'un point situé très-près de l'axe même.

La *fig.* 100 éclaircit le premier de ces principes. Soit ABC la moitié supérieure du profil d'un verre de convergence ; soient D le centre géométrique de la surface antérieure AC, et E le centre géométrique de la surface postérieure : nous supposons que le plan du profil passe par ces deux points : une ligne FI menée par D et par E, doit être perpendiculaire aux deux surfaces en A et B, par conséquent elle sera l'axe du verre. Du point F de l'axe, le rayon FG tombe sur le verre ; qu'on tire donc maintenant par G et D la normale KGD ; on trouvera, d'après la loi fondamentale de la Dioptrique (pag. 335, § 3), que le rayon réfracté reste dans le plan de la figure, et qu'il fait avec la normale GD un plus petit angle dans le verre que dans l'air ; soit GH sa direction : si par le point H où il atteint la surface postérieure, on mène à celle-ci la normale EHL, le rayon, après le passage, reste encore dans le plan de la figure ; mais il s'éloignera de HL vers le bas, et par conséquent il coupera l'axe à quelqu'endroit ; soit I le point d'intersection ; le problème doit donc être exprimé ainsi : *Trouver la position du point* I, *lorsque les rayons des surfaces, les positions des centres et celles des points* F *et* G *sont connus.*

Pour résoudre ce problème avec toute la rigueur possible, il faut employer des calculs longs et compliqués ; mais il est facile d'y parvenir d'une manière approchée, et qui suffit entièrement pour les applications. Cela se fait au moyen d'une relation qui existe entre les deux rayons DA et EB, les *deux distances de réunion* AF et BI, et le rapport de réfraction que l'on doit aussi supposer connu.

La circonstance qui facilite cette approximation, c'est que les arcs doivent toujours avoir peu de courbure, pour que les verres donnent des images distinctes, et par conséquent, les angles aigus en D et en E, sont toujours très-petits ; mais d'après cela, les angles aigus en F, I, FGK et LHI, sont aussi toujours petits, et les arcs AG et BH doivent être considérés presque comme des lignes perpendi-

---

par l'effet d'un verre ordinaire, et que, par conséquent, on distingue aisément un plus grand nombre de points à la fois. Les lunettes ordinaires exigent de la part de l'œil des mouvemens et des tensions continuelles, ce qui fatigue cet organe, tandis que les *lunettes périscopiques* laissent à l'œil beaucoup plus de repos : on ne saurait donc trop en recommander l'usage.

culaires sur l'axe, et aussi comme des lignes parallèles et égales, à cause du peu d'épaisseur du verre.

§ 30. *Problème.* D'après les considérations exposées au précédent paragraphe, si l'on pose $AD = f$, $BE = g$, $AF = a$, $BI = \alpha$, le rapport de réfraction de l'air dans le verre $n : 1$, il s'agit de trouver une équation approchée entre f, g, a, α, et n.

Solution. Puisque les angles KGF, HGD, GHE et LHI sont petits, nous pouvons leur attribuer le rapport constant d'incidence et de réfraction, qui a lieu entre les sinus (pag. 337, § 5). Ainsi, l'on trouve,

$$\left.\begin{array}{l} KGF : HGD = n : 1 \\ LHI : GHE = n : 1; \end{array}\right| \text{d'où} \left|\begin{array}{l} KGF = n.\, HGD \\ LHI = n.GHE, \end{array}\right.$$

par conséquent aussi,

$$KGF + LHI : HGD + GHE = n : 1.$$

Maintenant, si nous désignons les angles aigus par F, E, D, I, c'est-à-dire par des lettres placées à leurs sommets, nous aurons d'abord,

$$KGF = F + D;\ LHI = E + I,$$

parce que le premier est extérieur au triangle FGD, et le second au triangle EHI : on tire de là

$$KGF + LHI = F + D + E + I.$$

On aura par le même principe,

$$HGD + GHE = GME = E + D;$$

de sorte que, d'après ces valeurs, la proportion précédente devient,

$$F + D + E + I : E + D = n : 1;$$

d'où

$$F + D + E + I - (E + D) : E + D = n - 1 : 1$$

c'est-à-dire,

$$F + I : E + D = n - 1 : 1;$$

d'où résulte l'équation

$$(n - 1)\, E + (n - 1)\, D = F + I.$$

Maintenant, à cause de la petitesse de tous ces angles, on aura, sans erreur sensible,

$$\text{E proportionnel à } \frac{BH}{EB} = \frac{BH}{g}$$

$$\text{D} \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{AG}{AD} = \frac{AG}{f},$$

$$\text{F} \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{AG}{AF} = \frac{AG}{a},$$

$$\text{I} \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{BH}{BI} = \frac{BH}{\alpha}.$$

Si l'on met ces valeurs dans l'équation précédente, elle deviendra

$$\frac{(n-1)\,\mathrm{BH}}{g}+\frac{(n-1)\,\mathrm{AG}}{f}=\frac{\mathrm{AG}}{a}+\frac{\mathrm{BH}}{\alpha}.$$

Mais, à cause de la très-mince épaisseur du verre, le points G et H sont presque coïncidens; et comme d'ailleurs les lignes FG, GH, HI font de petits angles avec l'axe, il s'ensuit que l'on a, à fort peu près, AG = BH : on peut donc diviser toute l'équation par AG ou BH, et il reste alors

$$\frac{n-1}{g}+\frac{n-1}{f}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$$

ce qui est la formule d'approximation demandée.

§ 31. *Observations.* 1.° Chacune de cinq quantités n, f, g, a, α, peut être considérée comme inconnue, les autres étant données; ce qui donne naissance à cinq propositions dont on peut tirer beaucoup d'applications importantes.

2.° La formule est applicable pour toutes les positions des points F et I sur l'axe, pourvu que, dans chaque cas, on ait égard à la position de la *partie* qu'on regarde comme donnée. Selon la forme et l'épaisseur du verre, cette position peut être la même que dans la figure, ou bien elle peut être opposée. Si le verre, par exemple, était *double concave*, on devrait faire f et g négatifs. Si la surface antérieure était plane, et la surface postérieure concave, on devrait faire $f=\infty$, ce qui donnerait $\frac{n-1}{f}=0$, et g serait négatif. Si le rayon FG ne venait pas d'un point de l'axe au-devant du verre, mais qu'il fût au contraire dirigé vers un point de l'axe, derrière le verre, on aurait α négatif. Si le rayon FG était parallèle à l'axe, on aurait $a=\infty$, et $\frac{1}{a}=0$, etc.

Les conséquences que nous tirons de notre formule, peuvent donc servir ainsi pour tous les verres sphériques, et pour tous les cas qui peuvent se présenter dans les usages qu'on en fait.

3.° Puisque AG et BH sont éliminés de l'équation, c'est une preuve que tous les rayons venus du point F, et qui tombent sur le verre, vont se réunir dans un même point I, et par conséquent y produisent une image de F. Mais, dans certains cas, cette image de F peut être devant le verre, ce qui arrive lorsque la formule donne une valeur négative de α : elle peut être à un éloignement infini, si $\frac{1}{\alpha}=0$, c'es-dire, $\alpha=\infty$.

4.° En rapprochant les conséquences auxquelles nous venons de parvenir, on trouve *que, dans chaque espèce de verres sphériques, un point rayonnant placé dans l'axe, produit toujours par la réfraction une image située sur ce même axe, mais qui se trouve tantôt devant, tantôt derrière le verre et tan-*

tôt à un éloignement infini ; ce qui était une supposition que nous avions admise pour notre méthode de construction.

5° Soit α la quantité cherchée, et $a = \infty$; c'est-à-dire, supposons le rayon incident parallèle à l'axe; on a $\frac{1}{a} = 0$; par conséquent

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g}$$

Au moyen de cette formule, on détermine la distance où se coupent, après leur réfraction, les rayons qui étaient parallèles à l'axe.

Cette distance s'appelle la *distance focale* du verre, et si nous la représentons par p, nous aurons

$$\frac{1}{p} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} ;$$

ce qui est une des principales formules de la Dioptrique. Au moyen de cette formule, on peut trouver, dans chaque cas, la distance focale d'un verre par le rayon de sa surface et par le rapport de réfraction. Plusieurs autres questions utiles peuvent être résolues de la même manière, puisque, si des quatre quantités p, n, f, g, trois sont données, la quatrième peut être obtenue facilement d'après la formule.

Si le verre est symétriquement double convexe, on a $f = g$, et par conséquent

$$\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{f}, \text{ ou } p = \frac{f}{2(n-1)}).$$

Soit le rapport de réfraction 17 : 11 (pag. 339, § 6); on a alors

$$n = \frac{17}{11} ;\ n-1 = \frac{6}{11} ;\ 2(n-1) = \frac{12}{11} ;$$

par conséquent, $p = \frac{11}{12} f$, c'est-à-dire, que p égale f, à $\frac{1}{12}$ près (pag. 344, § 15).

Si le verre est double concave et symétrique, on trouve de la même manière $p = -\frac{11}{12} f$.

Si le verre est plan convexe, un des deux rayons, g, par exemple, devient infini ; par conséquent

$$\frac{n-1}{g} = 0, \text{ et } \frac{1}{p} = \frac{n-1}{f}, \text{ ou } p = \frac{f}{n-1}.$$

Si maintenant, on fait comme ci-dessus, $n - 1 = \frac{6}{11}$, on a $p = \frac{11}{6} f$, ou environ $2f$, (pag. 344, § 15).

Pour un verre plan concave, on trouve de même $p = -\frac{11}{6} f$.

Quand on connaît l'emploi des formules algébriques, on voit facilement comment le calcul doit être fait dans tous les autres cas. L'exemple suivant va servir pour indiquer la forme la plus commode du calcul. Nous supposons que le verre soit un ménisque (p. 341 et 342), et que sa surface antérieure soit concave : soient dans ce cas $f = -10$; $g = +\frac{1}{5}$; $n - 1 = \frac{6}{11}$; on aura

$$\frac{1}{p} = -\frac{6}{110} + \frac{30}{11} = \frac{300}{110} - \frac{6}{110} = +\frac{294}{110};$$

par conséquent $p = +\frac{110}{294}$; en effectuant la division, on trouvera $p = +0,274$.

6.° Comme, en général, $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ selon le précédent numéro, et comme la première partie de cette équation est $= \frac{1}{p}$, le deuxième membre doit être généralement $= \frac{1}{p}$; nous aurons donc ainsi

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha};$$

ce qui est la même formule que nous avons trouvée dans la Catoptrique, pour la comparaison de la distance d'un miroir avec les *deux distances de réunion des rayons*; et, ici comme alors, cette formule est applicable à presque tous les calculs optiques.

§ 32. Il nous reste encore à examiner la réfraction des rayons qui viennent d'un point placé hors de l'axe. On prouve également par la théorie et par l'expérience, que les points rayonnans qui sont près de l'axe, donnent des images distinctes. Cela suffit pour nous faire diriger notre attention sur eux.

La ligne AB, (*fig.* 101), représente le profil d'un verre quelconque dont le centre optique est C, et dont l'axe est DE : en F est un point rayonnant dont un des rayons FG, qui tombe sur le verre, est réfracté dans la direction GH. Si du point F, par le centre optique C, on mène la ligne FCH, le rayon réfracté la coupera quelque part, par exemple, en H, et par conséquent les distances CF et CH dépendent l'une de l'autre, suivant une certaine loi.

§ 33. *Théorème.* Si l'on nomme p la distance focale, et si le point rayonnant est très-près de l'axe, on a

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{CF} + \frac{1}{CH}.$$

Démonstration. Qu'on prolonge HG vers I, et GF jusqu'à l'axe en D : si l'on désigne les angles aigus par D, K, F et H, on a $F + H = D + K$; parce que chacune de ces deux sommes est égale à IGF : mais comme F est près de l'axe, l'angle GFC est très-petit, et GC est presque perpendiculaire sur FC, on peut donc admettre, sans grande erreur, que

F est proportionnel à $\frac{CG}{FC}$,

H................ $\frac{CG}{CH}$,

D................ $\frac{CG}{CD}$,

K................ $\frac{CG}{CK}$,

Si l'on substitue ces valeurs dans l'équation $F + H = D + K$, il vient,

$$\frac{CG}{FC} + \frac{CG}{CH} = \frac{CG}{CD} + \frac{CG}{CK};$$

ou en divisant tout par CG,

$$\frac{1}{FC} + \frac{1}{CH} = \frac{1}{CD} + \frac{1}{CK}.$$

Supposons que le rayon ne vienne pas de F, mais de D, ce qui ne peut faire aucun changement dans la direction du rayon réfracté ; on a, d'après l'article 31, n.° 6,

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{CD} + \frac{1}{CK},$$

par conséquent aussi

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{CF} + \frac{1}{CH};$$

ce qui est la formule demandée.

§ 34. *Observation.* On voit facilement, d'après cette formule, que les conclusions que nous avons tirées (pag. 355, § 31), pour un point rayonnant dans l'axe, peuvent aussi être appliquées aux points rayonnans hors de l'axe, et ainsi il en résulte, 1.° que chaque point rayonnant F, placé hors de l'axe, produit après la réfraction de la lumière une image H, toujours située dans la ligne droite qu'on peut mener du point rayonnant au centre optique; 2.° si par les points F et H, on mène les lignes FL et HM perpendiculaires sur l'axe, on peut, puisque F et H sont très-près de l'axe, supposer sans erreur sensible, que $CF = CL$, et $CH = CM$; de sorte que la formule ci-dessus, se trouve changée dans celle-ci :

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{CL} + \frac{1}{CM}.$$

Mais de là il suit que si FL est un objet rayonnant, chacun de ses points aura son image en HM, et que l'image de chacun d'eux se trouvera justement dans la ligne droite qu'on peut mener de ce point vers le centre. Telle était l'autre supposition que nous avions faite pour notre méthode de construction; et, ainsi tout ce que nous avions alors admis sans preuve, se trouve maintenant démontré avec une rigueur suffisante.

ADDITION AUX CHAPITRES XLI ET XLII.

DES CAUSTIQUES.

« Soit P (*fig.* 102) un point lumineux, AB une surface plane ou plutôt l'intersection de cette surface par un plan qui lui est perpendiculaire et qui est mené par P; supposons que le milieu au-dessous de AB, soit plus dense que celui qui est au-dessus : si on conçoit au point d'incidence I du rayon incident PI, une perpendiculaire KH à AB, et que IR soit le rayon réfracté; si l'on pose l'angle d'incidence PIH $= i$ et l'angle de réfraction RIK $= r$, on sait que le rapport $\frac{\sin. r}{\sin. i}$ est constant. Si l'on cherche la courbe FG à laquelle les rayons réfractés IR sont continuellement tangens, pour toutes les incidences PI, cette courbe sera ce qu'on appelle *une caustique :* on voit qu'elle est formée par les intersections continuelles des rayons réfractés correspondans à la suite de rayons incidens infiniment rapprochés. La caustique variera suivant la nature du milieu dans lequel se trouve le point lumineux et suivant la distance de ce point à la surface de séparation : elle est formée des deux branches symétriques FG et FE qui ont en F un point de rebroussement, et qui touchent en G et E la ligne de séparation des milieux. On conçoit facilement que si l'on fait tourner la figure autour de l'axe YY' mené par P perpendiculairement à AB, la caustique FG engendrera une *surface caustique*. Si l'on conçoit les deux autres branches GD et DE absolument symétriques avec GF et FE, on démontre que FGDE est la développée d'une ellipse. Ces notions posées, nous allons passer à quelques conséquences remarquables. 1.° Un œil placé sur la verticale PY', au-dessus de F, voit en F l'image du point lumineux P. En posant la distance PC $= a$, si l'œil O est dans l'air, et suivant que l'objet P sera dans l'eau ou dans le verre, on aura CF $= \frac{3}{4}a$ ou CF $= \frac{2}{3}a$; d'où PF $= \frac{1}{4}a$, ou PF $= \frac{1}{3}a$; si l'œil est dans l'eau et l'objet dans le verre, ce rapprochement sera seulement $= \frac{1}{9}a$. 2.° L'œil O' voit l'objet P au point t où la tangente à la caustique, menée par O', touche cette courbe : ce point P est toujours vu en t, quelque soit la position de l'œil O' sur le rayon réfracté IR. 3.° L'œil en O'' voit l'objet P en G où la tangente par O'' touche la caustique. Lorsque les rayons lumineux passent d'un milieu moins réfringent ou moins dense, dans un milieu plus réfringent, à travers une surface plane, la caustique a la forme indiquée

(*fig.* 103) ; c'est la développée d'une hyperbole. Lorsque l'œil est en O', il voit l'objet P en t où le prolongement du rayon réfracté RI, touche une des branches de la caustique. Il se présente ici la question de savoir à quel rayon incident répond chaque point de la caustique : on conçoit, en effet, que cette courbe (*fig.* 102 et 103) étant formée par les intersections successives des rayons réfractés, et chaque rayon réfracté répondant à un rayon incident, chaque point de la caustique répondra à un rayon incident déterminé. On a recherché aussi si les diverses portions de la caustique sont également éclairées, et on a trouvé que le point de rebroussement F est le plus éclairé. Dans le second cas, c'est-à-dire, lorsque les rayons passent d'un milieu moins dense dans un plus dense, comme la caustique s'étend indéfiniment dans le sens de l'axe des x, ou dans le sens AB (*fig.* 103), on en conclut que, quelle que soit l'incidence, les rayons se réfractent toujours, ce qui n'a pas lieu dans l'hypothèse contraire (*fig.* 102). Nous ne nous arrêterons pas au cas où les rayons traversent une lame épaisse plus réfringente que l'air ambiant, et où ils subissent alors deux réfractions. Comme l'examen détaillé et approfondi des applications que la théorie des caustiques fournit à la Dioptrique et à la Catoptrique, quand la surface réfringente est sphérique, ferait à lui seul la matière d'un traité fort étendu, nous nous bornerons à de simples indications. Si, pour simplifier, on ne considère que l'intersection de la sphère par le plan mené par le point lumineux et le centre, *la caustique par réfraction* sera encore la courbe touchée par la suite des rayons réfractés, et *la caustique par réflexion* sera la courbe touchée par les rayons réfléchis. Soit P (*fig.* 104) le point lumineux extérieur à la surface, PI un rayon incident prolongé vers N, C le centre de la surface, et conséquemment CK la normale en I : si le milieu dans lequel se trouve le point radieux P, est le moins dense, le rayon réfracté IR tombera au-dessous de IN, parce qu'on doit avoir l'angle RIC de réfraction plus petit que l'angle d'incidence NIC. Si l'on suppose un autre rayon incident PI', infiniment voisin de PI, le réfracté I'R coupera IR en un point R qui sera à la caustique de réfraction. En posant $PI = q$, $IR = q'$, cord. $Ii = 2b'$, cord. $IN = 2b$, $IM = b$, $IM' = b'$, $n = \frac{\sin. i}{\sin. r}$, on trouve $q' = \frac{nb'^2 q}{q(nb' - b) - b^2}$, formule qui fait connaître q', quand les autres quantités sont données. Si l'on veut dire que le point lumineux P est intérieur à la sphère et que les rayons passent d'un milieu plus dense dans un milieu qui l'est moins, on changera q en $-q$, et on remplacera n par $\frac{1}{n}$. Ainsi, pour le cas où les rayons incidens tombent sur la concavité de la surface, on aura la formule $q' = \frac{b'^2 q}{q(b' - bn) + b^2 n}$. Changeant dans cette dernière n en $\frac{1}{n}$, on aura le cas où les rayons incidens rencontrent encore la concavité, mais en passant d'un milieu moins dense dans un qui l'est davantage,

Dans le cas de la réflexion, et en supposant le point lumineux intérieur à la sphère, en P (*fig.* 105) on fait $n = -1$ dans la derniére formule qui devient $q' = \frac{b'^2 q}{q(b' + b) - b^2} = \frac{bq}{2q - b}$, à cause de $b' = b$, comme on le démontre : d'où l'on déduit $\frac{2}{b} = \frac{1}{q} + \frac{1}{q'}$, formule qui donne la longueur $q' =$ IR du rayon réfléchi depuis le point I jusqu'au point de contact R avec la caustique, lorsqu'on connaît la longueur $q =$ PI du rayon incident, et celle de la corde IN $= 2b$. Dans le cas où le rayon tombe sur la convexité, on a $\frac{2}{b} = \frac{1}{q'} - \frac{1}{q}$ qui est la formule pour le miroir convexe. Ces deux formules peuvent servir dans tous les cas à déterminer le rayon réflechi, lorsqu'on connaît le cercle osculateur à une courbe au point d'incidence.

Si l'on suppose (*fig.* 106) que les rayons incidens soient parallèles et que la surface de séparation soit de verre, les rayons qui tombent en *a, b, c, d* seront refractés, en faisant le sinus d'incidence au sinus de réfraction dans le rapport 2 : 3 : ces rayons détermineront dans l'air une caustique dont F sera le point de rebroussement. Si le point lumineux L est situé à une distance finie, les rayons refractés convergeront moins que dans le cas précédent, de sorte que le point de rebroussement de la caustique, s'éloignera, et cela d'autant plus que le point L se rapprochera davantage de la surface réfringente. Le point L arrivant vers le foyer des rayons parallèles qui viendraient de l'air, les branches de caustique commenceront à se séparer. Le point lumineux se rapprochant encore, les branches de la caustique se porteront tout-à-fait sur les côtés (*fig.* 107) : mais alors les rayons intermédiaires devenus divergens, détermineront une caustique dans le milieu le plus réfringent, au-delà du point lumineux. On peut examiner, en suivant les constructions graphiques, ce qui arrive suivant que le point lumineux est plus ou moins éloigné de la surface que le centre même de cette surface : lorsqu'il se trouve à ce centre, aucun des rayons n'est réfracté. On peut, par une expérience fort simple, reconnaître une partie de ces résultats : il suffit de prendre un verre rempli d'eau, de le placer sur une table, et de disposer une bougie derrière ; lorsque cette bougie sera très-éloignée, on verra une caustique lumineuse très-courte ; elle s'allongera à mesure qu'on rapprochera la bougie, et, en la rapprochant encore, on les verra se porter sur les côtés. On peut examiner le cas où le point lumineux est dans le milieu le moins réfringent, et passer de là aux images d'un corps vu par réfraction.

Ces courbes sont devenues célèbres par les travaux des géomètres depuis *Tschirnhausen* en 1682, jusqu'à ces derniers temps. (*Voyez Corres. Math. et Phys.*)

ADDITION AU CHAPITRE XLI.

« Dans ce chapitre nous avons oublié de faire mention d'un instrument nommé *Héliostat* dont il convient d'indiquer au moins l'usage. Lorsqu'on introduit des rayons solaires dans une chambre, obscure par une ouverture très-petite, percée dans le volet d'une fenêtre, le mouvement continuel du soleil fait que la direction de ces rayons change sans cesse, ce qui limite la durée et la facilité des expériences : d'ailleurs l'obliquité de ces rayons fait qu'ils se dirigent vers le plancher, de sorte qu'on ne peut opérer sur ces rayons que dans une petite étendue, l'*Heliostat* inventé par *s'Gravezande*, permet de diriger et de fixer à volonté le rayon solaire dans telle direction que l'on veut choisir : il se compose d'un miroir métallique et d'une horloge qui le fait marcher de telle sorte que le rayon solaire réfléchi reste parfaitement immobile et conserve toujours la même direction, malgré le mouvement du soleil. Dans ces derniers temps, on a perfectionné cet utile instrument. »

CHAPITRE XLIII.

DES PRINCIPAUX INSTRUMENS D'OPTIQUE COMPOSÉS.

A. *Des Lunettes d'approche en général.*

§ 1. On peut, avec des verres sphériques, former une multitude de combinaisons diverses qui font voir les objets plus grands et plus rapprochés qu'ils ne le sont réellement : l'instrument qui résulte d'un pareil assemblage, se nomme *une lunette d'approche*, ou un *téléscope*. Quand il est uniquement composé de verres, c'est une *lunette dioptrique* : on l'appelle *lunette catoptrique*, quand des miroirs sphériques y sont adaptés. Le verre, ou le miroir qui recueille immédiatement la lumière de l'objet, se nomme *verre objectif*, *miroir objectif* : les autres verres se nomment *oculaires*, et sont comptés en partant du côté de l'objectif et venant vers l'œil; premier, second oculaire, etc.

§ 2. Pour que l'effet d'une lunette d'approche ou d'un autre instrument composé, soit aussi parfait que possible, chaque verre doit être exactement centré; les axes de tous les verres doivent être sur une même ligne droite; chaque verre doit avoir une distance focale

exactement déterminée d'après des règles fixes, et sur-tout une ouverture exactement proportionnée. Entre les verres, on place des *diaphragmes* qui sont des cercles opaques percés à leur centre, et dont il est fort important de déterminer la position et le diamètre : enfin tous les verres doivent être placés à des distances prescrites d'avance, et même l'œil doit avoir sa place exactement désignée : quelquefois le dernier oculaire seulement est mobile, mais plus fréquemment on enferme tous les oculaires dans un tube pour pouvoir varier la distance à l'objectif, selon le besoin de l'œil.

§ 3. Avec une lunette d'approche, on voit les objets éloignés sous un angle beaucoup plus grand qu'avec l'œil nu : le nombre qui indique combien de fois cet angle est agrandi, se nomme *le grossissement*.

L'espace que l'on aperçoit à travers le système entier des verres, est circulaire, et se nomme le *champ de la lunette* : la mesure de ce champ, est l'angle sous lequel l'œil verrait, sans lunette, tout l'espace qu'il embrasse par le moyen de la lunette d'approche.

L'intensité de la lumière avec laquelle on voit les objets, se nomme la *clarté*, et la précision avec laquelle paraît chaque point visible, se nomme la *netteté* de la lunette.

Toutes ces choses sont susceptibles de déterminations mathématiques; mais tout ce qu'on doit attendre de la Physique élémentaire, c'est de faire concevoir les effets des lunettes d'approche, d'après les propriétés des verres et des miroirs sphériques.

§ 4. Sur les instrumens composés de plusieurs verres, on doit encore remarquer en général ce qui suit. Nous avons montré dans les chapitres précédens, que chaque verre sphérique produit une image d'un objet dont il reçoit des rayons, mais que cette image peut être tantôt devant le verre, tantôt derrière, et tantôt à un éloignement infini. Si l'on place maintenant un second verre derrière le premier, de sorte que leurs axes se correspondent, l'image produite par le premier verre, prendra pour ce second verre la place d'un objet : ce second verre donnera par conséquent une seconde image de l'objet; mais cette image, à son tour, peut être placée devant ou derrière le verre, ou dans un éloignement infini : l'image produite par ce deuxième verre, tient encore lieu d'un objet pour un troisième, etc. Enfin l'on voit facilement que, quel que soit le nombre des verres qu'on place à la suite les uns des autres sur un axe commun,

et à telle distance qu'on les place, chaque verre produira toujours une image particulière de l'objet.

Quelques-unes de ces images se forment réellement, parce que les rayons qui appartiennent à un point déterminé de l'objet, se réunissent réellement dans un même point, après la réfraction. Telles sont les images d'un verre de convergence dans la chambre noire; on les nomme images *réelles* ou *physiques*. D'autres n'existent pas effectivement, soit parce que la lumière se propage seulement comme si elle venait d'une telle image, ainsi qu'il arrive dans les lorgnettes et dans les loupes, soit parce que les rayons qui produiraient une image, sont reçus par un nouveau verre, avant que l'image ait été effectuée : on nomme celles-ci images *géométriques*. Mais il se présente dans les instrumens composés, des cas qui n'ont pas été considérés dans le précédent chapitre, où l'objet était toujours effectif.

Un objet *réel*, par exemple, est toujours devant le verre : une image qui prend la place d'un objet pour un verre suivant, peut être derrière ce verre. Ce cas arriverait, par exemple, si on ne laissait pas se produire réellement l'image *fg* (*fig.* 98), mais qu'on reçut la lumière sur un autre verre placé quelque part entre AB et *fg*. On voit par là en quel sens on peut dire que l'objet est derrière le verre. Au reste, ce cas même offre une série particulière de phénomènes, mais qui peuvent être expliqués par la même méthode de construction que nous avons employée dans le chapitre précédent.

Phénomènes produits au moyen des verres de convergence, lorsque l'objet est derrière le verre.

§ 5. Lorsque l'objet est derrière un verre de convergence, il se produit toujours une petite image réelle placée très-près du verre.

Soit FG, (*fig.* 108), l'image qui serait produite par un verre placé en D, si la lumière n'était pas recueillie par le verre AB, avant que cette image puisse être formée : nous savons que cette image se produit par les rayons convergens qui, pour former le point F, par exemple, viennent tous s'y réunir : parmi ces rayons convergens, il peut y en avoir un, LC, qui passe par le centre optique C, et qui par conséquent continue, sans être réfracté, dans la direction CF; il peut y avoir aussi un de ces rayons KA qui soit parallèle à l'axe : celui-ci est réfracté vers le foyer principal E; les rayons CF et AE

se coupent dans le point f, et là se doivent aussi réunir tous les rayons qui se seraient joints en F, sans l'interposition du verre AB, c'est-à-dire, qu'il se forme en f une image de F; ainsi, en menant la ligne fhg perpendiculaire sur l'axe, on trouve que fg est l'image de FG. On conçoit, au reste, qu'il n'est pas nécessaire que les deux rayons KA et LC existent effectivement. Les rayons qui doivent représenter un point F, sont toujours compris dans un petit angle; et il peut bien arriver qu'au-dedans de cet angle, il ne se trouve ni un rayon parallèle à l'axe, ni un rayon qui passe par le centre optique : mais puisque tous les rayons allant vers F, ont un seul et même point de coïncidence en f, il est indifférent que les rayons qui nous ont servis pour trouver la situation de f, existent ou n'existent pas.

On voit par la figure, que le phénomène demeure toujours le même dans ses parties essentielles. En quelqu'endroit que l'objet FG se trouve derrière le verre, il se forme toujours entre le verre et le foyer principal, une image diminuée qui est droite ou renversée, selon que l'objet FG est droit ou renversé : seulement la grandeur et la distance de cette image changent lorsque l'éloignement de l'objet varie.

Sur cela se fondent les effets déjà rapportés d'un verre collecteur placé derrière un verre ardent (pag. 343, § 14.)

Phénomènes produits au moyen des verres de divergence, lorsque l'objet est derrière le verre.

§ 6. Les phénomènes que produit dans ce cas, un verre de divergence, sont plus variés; cependant ils se peuvent facilement concevoir, d'après ce qui a été dit ci-dessus.

1° La *fig.* 109 représente le cas où l'image FG, qui tient lieu de l'objet, est en-deçà de la distance focale postérieure CE : les deux rayons KA et LC qui se couperaient en F sans le verre AB, prennent, après leurs passage, les directions convergentes Af et Cf; il se produit donc derrière le verre, une image plus grande et plus éloignée fg, laquelle a une position semblable à FG.

2.° La *fig.* 110 représente le cas où l'image FG est dans le foyer postérieur E lui-même : ici les deux rayons KA et LC qui, sans le verre, se couperaient en F, ont, après le passage dans le verre, les

directions parallèles AM et CF, de sorte qu'il ne se forme nulle part d'image ; ou, si l'on veut, il ne s'en forme une qu'à un éloignement infini.

3.° La *fig.* 111 représente enfin le cas où l'image FG est placée hors de la distance focale postérieure CE. Dans ce cas, les deux rayons KA et LC ont, après le passage, des directions divergentes, telles que MA et CL; si les lignes CF sont prolongées devant le verre autant qu'il est nécessaire, elles se coupent au-dessous de l'axe en *f*.

Les rayons continuent donc après leur passage à travers le verre, comme s'ils venaient d'une image *fg* placée hors de la distance focale antérieure, et qui a, par rapport à FG, une situation renversée. Mais la grandeur et la distance de cette image, peuvent être très-différentes, selon que FG est plus ou moins éloigné de E : si FG est très-près de E, *fg* est fort éloigné et fort grand : si EH = CE, les deux images sont également grandes, également distantes; mais si FG est plus éloigné, *fg* est plus petit, et plus près du foyer D.

B. *Des espèces de lunettes d'approche les plus importantes.*

§ 7. Le premier instrument de cette espèce fut inventé deux fois au commencement du dix-septième siècle. Le hasard le fit découvrir à un fabricant de lunettes de Middelbourg, nommé, à ce qu'on croit, *Jansen*; et *Galilée* qui avait entendu parler de cette découverte, parvint, par la force de son esprit, et la connaissance profonde de la théorie, à construire des instrumens semblables. (*Voyez Gehler*, II, 176; *Fischer*, II, 400.). Par cette raison, on nomme cette espèce de lunette, *Télescope de Hollande* ou *de Galilée*. Le verre objectif est, comme dans toutes les espèces de lunettes d'approche, un verre de convergence, et l'oculaire un verre de divergence dont le foyer est très-rapproché : ce dernier est disposé de manière que l'image renversée des objets éloignés, produite par l'objectif, n'atteint pas tout-à-fait le foyer postérieur de l'oculaire, ce qui se rapporte au cas représenté dans la *fig.* 111 (pag. 365 § 6). Un œil placé très-près derrière AB, verra, au lieu de FG, l'image *fg*; mais comme, dans la lunette, FG est renversé, l'image *fg* paraît droite. La lunette grossit le diamètre apparent autant de fois que la distance focale de l'oculaire, est contenue dans la distance focale de l'objectif. Elle ne peut pas servir à de très-grands grossissemens, parce que le champ est

trop petit; aussi ne s'emploie-t-elle maintenant que comme lunette de poche.

§ 8. Dans le télescope de *Kepler*, l'image renversée que produit le verre objectif, est vue à travers un verre de convergence dont le foyer est très-rapproché, justement comme on regarde un objet réel à travers une loupe (pag. 345, § 18, *fig.* 96 et 347, § 20) : comme ce dernier verre ne renverse pas les objets, il s'ensuit qu'avec ce télescope qui est encore le meilleur qu'on connaisse maintenant, on voit les objets renversés ; ce qui, au reste, est indifférent pour les observations astronomiques. On trouve le grossissement de même que dans le télescope de *Galilée*. Pour avoir un grossissement très-considérable, il faudrait donner à l'instrument une longueur peu commode.

§ 9. On peut augmenter beaucoup le champ d'un télescope, lorsqu'on ne laisse pas se former réellement l'image produite par le verre objectif, mais qu'on recueille la lumière, auparavant, au moyen d'un verre collecteur un peu large. Alors il se produit, derrière le verre, une petit image qui est vue au travers du dernier oculaire comme au travers d'une loupe (pag. 363, § 5, *fig.* 85). Par cette disposition, on ne perd rien du grossissement; car l'image éprouve un grossissement plus fort dans le même rapport qu'elle est devenue plus petite par l'interposition du verre collecteur.

Des instrumens construits de cette manière, qui grossissent peu, mais qui ont un grand champ et beaucoup de lumière, se nomment des *chercheurs*.

§ 10. Ce fut au commencement du dix-septième siècle qu'un jésuite, nommé *Rheita*, imagina la *lunette terrestre*, où sont réunis avec le verre objectif trois verres de convergence, dont les distances focales sont courtes, mais égales. On enchâsse ordinairement les trois oculaires dans un seul tube, de sorte que le foyer postérieur de chacun d'eux, coïncide justement avec le foyer antérieur du verre suivant. Quand on veut se servir de cet instrument, il faut enfoncer le tube oculaire dans le tube de la lunette, assez pour que l'image produite par le verre objectif, puisse être un peu en-dedans de la distance focale antérieure du premier oculaire : on appelle ainsi celui qui est le plus éloigné de l'œil. Dans cette position, un œil qui serait derrière ce premier oculaire, verrait une image de l'objet un peu éloignée, mais grossie et renversée (pag. 345, § 18, *fig.* 96).

Cette image renversée se trouve donc fort en avant de la distance focale du deuxième oculaire, et par conséquent elle produit derrière le foyer postérieur de ce verre, une image droite de l'objet (pag. 345, § 18, *fig.* 98). Enfin, puisque cette image est en-dedans de la distance focale antérieure du troisième oculaire, elle est vue à travers celui-ci comme avec une loupe (pag. 345, § 18, *fig.* 96). Le grossissement se mesure dans ce télescope comme dans les deux précédens, en divisant la distance focale du verre objectif, par la distance focale d'un des verres oculaires. Pour avoir des grossissemens très-forts, il faudrait aussi donner à cet instrument une longueur incommode.

§ 11. On peut obtenir un champ plus grand, sans préjudice de la netteté et du grossissement, en ajoutant un quatrième oculaire, ou en employant des oculaires à distances focales inégales. Mais les limites que nous nous sommes prescrites, ne nous permettent pas de nous étendre sur ce sujet avec plus de détails, sur-tout parce que cette espèce de lunette a perdu beaucoup de son importance, depuis l'invention des lunettes achromatiques.

§ 12. Telles sont les différentes espèces de télescopes par l'invention desquels le dix-septième siècle s'est distingué. Nous réservons pour le chapitte XLV, la description du télescope à miroir de *Newton*, et des lunettes achromatiques.

§ 13. Lorsque les distances focales des verres d'un télescopes leurs positions et leurs ouvertures sont déterminées, le grossissement, le champ, et même les degrés de clarté et de netteté, peuvent s'en déduire par le calcul : mais cette méthode appartient trop évidemment à l'Optique mathématique, pour que nous puissions la donner ici. Cependant, comme il est intéressant de connaître le grossissement et le champ d'un télescope, nous allons seulement indiquer d'une manière abrégée le moyen de les trouver mécaniquement.

§ 14. Le grossissement peut être évalué à-peu-près, en regardant à la fois un même objet au travers du télescope et avec l'œil nu, et en comparant les grandeurs apparentes des deux images.

On le détermine très-exactement avec un petit instrument particulier de l'invention de *Ramsden* dont on trouve une description sous le nom de *dyna mometer*, dans l'*Almanach astronomique* de *Bode*, 1795, pag. 225, et dans le premier Supplément,

§ 134. Voici, en peu de mots, l'idée de cet instrument. Lorsqu'on dirige vers le ciel un télescope quelconque, excepté celui de *Galilée*, et qu'on tient une feuille de papier derrière le dernier oculaire, au point où l'œil devrait être placé, on voit un cercle lumineux et terminé fort exactement : le point convenable pour la netteté de ce cercle, se trouve par des essais : on mesure son diamètre de la manière la plus exacte ; ensuite on mesure l'ouverture du verre objectif ; on divise cette ouverture par le diamètre, et l'on trouve ainsi combien l'instrument peut grossir. Au lieu de papier, *Ramsden* prit une plaque mince de corne; il marqua dessus une division très-exacte, et attacha la plaque à un tube qu'on peut joindre au télescope, pour pouvoir mesurer ainsi, d'une manière aussi commode qu'exacte, le diamètre du cercle lumineux.

La théorie de cet ingénieux instrument ne peut pas être exposée ici. Nous remarquerons seulement que le cercle lumineux est lui-même une image du verre objectif; d'où l'on peut conclure que cette image est contenue dans le diamètre du verre objectif, autant de fois que le télescope grossit de fois les objets éloignés (1).

§ 15. Le champ d'un télescope peut être évalué en comparant son diamètre avec le diamètre apparent d'un objet qu'on regarde à travers le tube, ce diamètre étant supposé connu par d'autres expériences. Les diamètres du soleil ou de la lune peuvent principalement servir pour cette évaluation : ces diamètres sont d'environ un demi-degré : on trouve leur valeur exacte dans les Traités d'Astronomie.

On peut trouver exactement le champ d'un télescope, en le dirigeant vers une étoile qui se trouve près de l'équateur ; on la fait passer au milieu du champ de la lunette, et l'on compte combien il s'écoule de secondes durant le passage : quatre secondes de temps représentent toujours un angle d'une minute.

C. *Le Microscope composé.*

§ 16. Le microscope composé fut connu bientôt après l'invention

---

(1) M. *Arago* a récemment imaginé, pour mesurer le grossissement des instrumens d'optique, un procédé très-ingénieux, fondé sur la double réfraction, et que j'ai exposé dans mon Précis de Physique.

du télescope; mais son inventeur est ignoré. (*Gehler*, III, 215; *Fischer*, III, 579.)

Par rapport au grossissement, le microscope composé n'a aucun avantage sur le microscope simple; mais il a plus de champ, plus de lumière, et il est d'un usage plus commode pour considérer de petits objets.

On peut le former de deux, de trois ou de plusieurs verres. L'objectif est toujours une petite lentille de convergence, dont la distance focale n'est jamais de plus d'un demi-pouce : ordinairement on a plusieurs de ces lentilles dont les distances focales décroissent graduellement, parce qu'ici, comme dans le microscope simple, le grossissement est d'autant plus fort que la distance focale de l'objectif lenticulaire, est plus petite.

On place l'objet tout près devant le foyer antérieur de la lentille objective; conséquemment il se produit, à une grande distance derrière la lentille, une image de l'objet grossie et renversée (pag. 345, § 18, *fig.* 98) : on peut voir cette image au travers d'un verre de convergence d'un ou de deux pouces, comme au travers d'une loupe (pag. 345, § 18, *fig.* 96). Telle est la construction du microscope à deux verres.

Mais la réunion de trois verres est préférable : on ne laisse pas se former l'image que produirait l'objectif lenticulaire, et qui s'effectue dans le microscope que nous venons de décrire; mais on la recueille avant sa formation avec un verre large d'environ trois pouces; de manière, que d'après ce qui est dit à l'article 5 (pag. 364, *fig.* 108), il se produit derrière ce verre une petite image de l'objet, qui alors peut être vue comme avec une loupe au moyen du deuxième oculaire, dont la distance focale et d'environ un pouce.

Il n'est pas utile de réunir plus de verres, parce que la lumière en est affaiblie. Le microscope perd même de sa netteté lorsque l'assemblage n'est pas calculé très-exactement.

§ 17. Le mécanisme extérieur du microscope composé, est fait très-différemment par les divers artistes; c'est une partie assez essentielle pour la perfection de cet instrument. Il faut chercher des détails sur ceci, dans les *Dictionnaires de Physique*, et dans les autres grands ouvrages.

§ 18. Dans un microscope composé, le grossissement, le champ, etc.,

se calculent de même que pour un télescope, par les distances focales des verres et leur éloignement; mais cette recherche théorique doit être omise ici, par la même raison que nous avons donnée en traitant du télescope (pag. 368, § 13).

Le grossissement s'évalue par l'expérience suivante : on met dans le microscope un petit objet d'une dimension exactement connue; on regarde avec un œil dans l'instrument, et avec l'autre, vers la pointe d'un compas qu'on tient à la distance de la vision distincte; on ouvre les pointes de ce compas, jusqu'à ce qu'elles paraissent éloignées l'une de l'autre de la valeur du diamètre de l'objet vu par le microscope : on mesure cette distance sur un échelle de réduction, et on la divise par le vrai diamètre de l'objet. On emploie aussi pour le même but, la mesure de grossissement, décrite (§ 14, pag. 368), et absolument de la même manière que pour le télescope; seulement, le nombre que donne la mesure de grossissement, lequel sera dans ce cas l'unité, ou plutôt même une fraction, doit être multiplié par la distance de la vue distincte, c'est-à-dire par huit pouces environ (pag. 313 et 314, § 3) et divisé par la distance focale de l'objectif lenticulaire.

CHAPITRE XLIV.

THÉORIE DES COULEURS DIOPTRIQUES OU DE LA DÉCOMPOSITION DE LA LUMIÈRE.

Du Prisme de Verre.

§ 1. Nous allons examiner maintenant avec soin les phénomènes de la dispersion des couleurs qui se produisent à chaque réfraction (pag. 337 et 338, § 6, 4.°). L'appareil très-simple au moyen duquel *Newton* a démontré clairement les lois de ces phénomènes, est un prisme de verre, dont ABC (*fig.* 112) représente une coupe verticale. Ordinairement les prismes qui servent dans de semblables recherches, sont symétriques, et leurs trois angles BAC, ABC et ACB sont tous de soixante degrés : cependant on en emploie quelquefois d'irréguliers; le plus souvent ils ont une longueur de cinq à six pouces, de manière qu'on peut regarder à travers avec les deux yeux à la fois. Lorsque

la lumière passe dans un de ces prismes, chaque rayon y est réfracté deux fois, savoir : à la surface antérieure BA et à la postérieure CA : par ce double effet, la réfraction et la dispersion des couleurs, augmentent beaucoup, et l'on peut ensuite aisément examiner la lumière réfractée à telle distance qu'on veut derrière le prisme. L'angle BAC formé par les deux surfaces BA et CA du prisme, se nomme l'*angle réfringent*.

§ 2. Supposons que l'on tienne un prisme de cette espèce devant les deux yeux, dans une situation horizontale, de sorte qu'un des angles BAC, par exemple, comme dans la *fig.* 112, soit placé vers le bas : si l'on regarde alors les objets à travers une des surfaces réfractantes, CA par exemple, on les voit beaucoup plus bas qu'ils ne sont réellement, et tous les objets qui se trouvent vers les côtés, changent de place encore beaucoup plus sensiblement ; de sorte qu'une ligne horizontale paraît comme un arc concave vers le haut. En même temps les bords de tous les objets paraissent entourés des couleurs de l'arc-en-ciel ; mais par cela même ils sont indistincts et mal arrêtés.

§ 3. Les expériences qu'on fait dans une chambre très-obscure, sont encore plus remarquables et plus décisives. On fait passer un cône mince de rayons solaires DE (*fig.* 112) par une petite ouverture D, percée dans le volet d'une fenêtre, et l'on fait tomber ce cône sur la face BA du prisme : cette lumière se réfracte deux fois en E et en F, et toujours en s'élevant : après la réfraction, elle s'élargit d'autant plus qu'elle se prolonge davantage. Si cette lumière réfractée est recueillie sur une paroi blanche et bien unie VG, opposée à l'ouverture D, on observe en VR où frappe la lumière réfractée, le plus beau phénomène que produisent les couleurs. C'est une image alongée VR, telle que la représente la *fig.* 113 ; elle n'est nulle part exactement terminée : cependant les deux lignes latérales AB et CD se distinguent aisément, et on ne peut méconnaître que les parties supérieure et inférieure se terminent en demi-cercle, quoique leur contour, et surtout celui de V, soient très-indistincts. L'image entière est environ cinq fois plus longue que large, et des couleurs différentes et très-vives marquent chaque point de sa hauteur. L'ordre dans lequel ces couleurs sont disposées, ainsi que l'espace que chacune d'elles occupe, sont indiqués approximativement par les lignes qui

coupent la *fig.* 113. et par les mots qui sont placés auprès. Cependant la détermination de l'espace que remplit chaque couleur ne peut pas être exacte, puisqu'elles se fondent les unes dans les autres par des gradations insensibles; de sorte qu'en effet il n'y a, de V jusqu'à R, qu'une dégradation continuelle de couleurs, ménagée tellement qu'on ne peut bien distinguer que les sept nuances indiquées ci-dessus. — Il faut recueillir l'image à une distance considérable du prisme, par exemple, à douze pieds au moins, parce que, plus près de sa surface postérieure, l'image est parfaitement blanche au milieu, et seulement colorée vers le haut et le bas; au lieu que plus la lumière s'est dilatée par l'éloignement, et plus les couleurs sont distinctes. Cette image des couleurs, se nomme *le spectre solaire.*

§ 4. Pour concevoir facilement la formation du spectre solaire, il faut examiner avec exactitude la réfraction qu'éprouve un seul rayon dans le prisme. Soit BAC (*fig.* 114) l'angle réfringent d'un prisme à sections verticales; que le rayon DE tombe sur la face antérieure AB, et qu'on élève en E la perpendiculaire incidente EH : il est clair, d'après ce qui a été dit (p. 335, § 3), que le rayon est réfracté vers le haut dans le verre. Soit donc EF le rayon réfracté; qu'en F, où il atteint la face postérieure, on élève la perpendiculaire LK : on voit qu'à la sortie du verre, il est encore une fois réfracté vers le haut. Soit donc FG le rayon émergent : si l'on prolonge le rayon incident DE indéfiniment vers N, et le rayon émergent jusqu'à ce qu'il rencontre DN en M, l'angle aigu GMN est la quantité dont le rayon DE est détourné de sa direction primitive par les deux réfractions qu'il a successivement éprouvées. On démontre, au moyen du calcul, que lorsque l'angle réfringent du prisme, est peu considérable, cet angle GMN, à quelqu'endroit que tombe le rayon DE, a un rapport presqu'invariable avec l'angle réfringent BAC. Par exemple, soit le rapport de réfraction de l'air dans le verre représenté par $n : 1$; on a presque exactement

$$GMN = (n - 1)\,BAC\,;$$

et comme nous trouvons que le rapport de réfraction dans le verre ordinaire est environ $3 : 2$, (pag. 337 et 339, § 6, 6°), on a $n = \frac{3}{2}$; par conséquent $n - 1 = \frac{1}{2}$; donc $GMN = \frac{1}{2}\,BAC$, c'est-à-dire que par l'effet du prisme de verre, le rayon DE est détourné de sa direc-

tion primitive, d'une quantité à-peu-près égale à la moitié de l'angle réfringent, et toujours vers l'ouverture de l'angle (1).

§ 5. Nous observons encore ici que l'emploi du prisme, est le moyen mécanique le plus commode pour trouver exactement le rapport de réfraction $n : 1$; car, de la formule

$$GMN = (n - 1)\, BAC,$$

il suit,

$$n = \frac{GMN}{BAC} + 1.$$

Il ne s'agit donc que de mesurer ces deux angles, ce qui n'a aucune difficulté; cependant si l'on voulait trouver ce rapport avec une extrême précision, il faudrait employer pour n une formule plus

---

(1) *Démonstration.* La formule $GMN = (n - 1)\, BAC$, serait rigoureusement exacte, si les angles eux-mêmes, et non pas leurs sinus, étaient entre eux comme $n : 1$. Dans cette supposition, et en observant que $DEH = LEM$, on a

$$LEM : LEF = n : 1;$$

d'où l'on tire

$$MEF : LEF = n - 1 : 1;$$

de même, à l'autre surface, $GFK = LFM$, et l'on a

$$LFM : LFE = n : 1,$$

par conséquent,

$$MFE : LFE = n - 1 : 1.$$

De la deuxième et de la quatrième proportion, on déduit

$$MEF + MFE : LEF + LFE = n - 1 : 1,$$

on a de plus,

$$MEF + MFE = GMN,$$
$$LEF + LFE = ILF,$$

par conséquent

$$GMN : ILF = n - 1 : 1;$$

or, ILF est supplément de ELF; et comme le quadrilatère AELF a deux de ses angles en E et en F, qui sont droits, ELF est supplément de EAF; par conséquent ILF est égal à EAF, ou à l'angle réfringent du prisme. Ainsi la proportion précédente se change dans la suivante :

$$GMN : BAC = n - 1 : 1,$$

d'où l'on tire

$$GMN = (n - 1)\, BAC.$$

rigoureuse. On peut consulter sur ceci des ouvrages plus considérables. (*Voyez Gehler* et *Fischer*, article *Prisma* et la *Dioptrique analytique* de *Klügel*.)

§ 6. Ce qui est dit aux articles 4 et 5, sur les phénomènes qui se produisent au moyen du prisme, doit suffire pour en donner une idée claire.

Concevons un observateur dont l'œil soit placé en G, (*fig.* 114); le point D duquel vient le rayon DEFG, lui paraîtra dans la direction GF, plus bas qu'il ne l'est réellement. Cependant si chaque rayon qui passe par le prisme, n'éprouvait qu'une déviation égale à $\frac{1}{2}$ BAC, dans sa direction primitive, il est clair que tout l'effet du prisme, consisterait seulement en ce que tous les objets paraîtraient détournés de leur place d'une quantité égale à l'angle indiqué. Mais notre théorème (p. 373, § 4), n'est applicable qu'aux rayons qui passent dans un plan perpendiculaire au prisme. Au contraire, les rayons qui, lorsqu'on regarde dans le prisme de la manière rapportée à l'article 2, viennent des objets placés de côté, sont plus fortement réfractés, parce qu'ils parcourent un plus grand espace à travers le prime, et parce qu'arrivant plus obliquement sur sa surface, ils doivent faire dans son intérieur un plus grand angle de réfraction. Ainsi, lorsqu'on regarde à travers un prisme une ligne droite horizontale et parallèle au tranchant du prisme, elle doit paraître arquée, et ayant ses extrémités dirigées vers le bas, puisque la lumière qui vient de ces extrémités, est plus fortement détournée de sa direction primitive.

D'après ce qui a été dit sur les phénomènes qu'on observe dans une chambre obscure (pag. 372, § 3), on conçoit facilement la formation du spectre irisé.

§ 7. Lorsqu'on ôte le prisme BAC, (*fig.* 112), et qu'on laissse tomber immédiatement sur la paroi opposée la lumière qui passe par la petite ouverture D, on ne voit en GH qu'une image du soleil, ronde, blanche et mal terminée (pag. 305, § 13). Maintenant, s'il ne se faisait aucune dispersion de couleurs par la réfraction, tout l'effet du prisme consisterait en ce que cette image paraîtrait en VR, avec la même couleur et avec une forme et une grandeur à peine différentes. La figure alongée de l'image VR, démontre donc incontestablement

Que la lumière réfractée FVR *a une réfraction non uniforme*, puisque la partie qui est amenée en V, par la réfraction, est déviée plus fortement de sa direction primitive, que la partie qui arrive en R; mais, en outre, comme l'image montre une couleur différente à chaque point, il s'en suit

Que la lumière blanche du soleil, est divisée par la réfraction, en rayons de diverses couleurs, et que la lumière de chacune des couleurs, a un rapport de réfraction qui lui est propre.

Newton trouva dans l'espèce de verre dont était fait son prisme, le rapport de réfraction :

De la lumière violette.......................... 1,56 : 1,
De la lumière intermédiaire verte............... 1,55 : 1,
De la lumière rouge la plus extérieure......... 1,54 : 1 (1).

§ 8. Si toute la lumière qui passe par le prisme, était violette et d'une égale réfrangibilité, on verrait seulement en V, une image du soleil violette et ronde; si cette lumière était uniquement rouge, on verrait en R une image rouge, et ainsi de même pour toutes les autres couleurs. Par là on peut se convaincre que l'image oblongue VR, (*fig.* 113), consiste proprement en une quantité infinie d'images du soleil, rondes et placées les unes au-dessus des autres, de manière que chacune d'elles se trouve un peu plus haut que celle qui

---

(1) Les rayons verts qui sont placés au milieu du spectre, ont, comme leur situation le démontre, une réfrangibilité intermédiaire entre les rayons extrêmes; et c'est par conséquent à eux seuls que la dénomination de rayons de réfrangibilité moyenne, semblerait devoir être appliquée. Cependant on a coutume d'y joindre les jaunes les plus inférieurs, parce que la lumière est plus faible vers le côté V, qu'elle ne l'est du côté R : les rayons jaunes sont donc réellement les rayons moyens, non pas, à la vérité par rapport à la situation, mais par rapport à l'éclat. *Newton* trouva pour leur rapport de réfraction dans le verre 17 : 11, ou 1,5454 : 1; et c'est le rapport de réfraction qu'on a coutume d'employer pour les recherches où l'on n'a pas égard à la dispersion des couleurs.

On peut en effet, sans craindre aucune erreur, employer dans le calcul des pouvoirs réfringens, le rapport qui est donné par la lumière jaune; car, en observant avec des prismes dont l'angle est fort petit, et qui ne produisent par conséquent aucune dispersion sensible, on trouve précisément le même résultat, ainsi que j'ai eu l'occasion de m'en assurer.

la précède. Dans la *fig.* 115, on n'a représenté, pour l'intelligence du phénomène, que les images du soleil que produisent les sept principales couleurs; mais on voit aisément que le spectre solaire, (*fig.* 113), ne peut pas être simplement formé de sept semblables cercles, mais d'une quantité innombrable, puisqu'autrement les lignes latérales AB et CD ne pourraient pas paraître droites (1).

§ 9. Ces principes se confirment par une foule d'expériences. Si, à quelque distance du prisme, on recueille avec un verre de convergence un peu large, la lumière colorée, on trouve de la lumière *blanche* au foyer du verre; au-delà du foyer, les diverses couleurs reparaissent dans un ordre inverse. Si l'on place un second prisme très-près du premier, mais dans une situation contraire, toute la lumière est de nouveau réfractée vers le bas, dans le même rapport qu'elle l'avait été vers le haut par le premier, et la lumière sort blanche du second prisme. On peut faire des expériences sur chacune des couleurs en particulier, en plaçant à quelque distance derrière le prisme, une surface noire où se trouve une petite fente horizontale très-étroite, à travers laquelle passe seulement une section mince et unicolore du spectre solaire. On isole encore mieux chaque couleur, en plaçant une seconde surface percée de même horizontalement à quelque distance derrière la première; de sorte que, par la seconde fente, il passe encore une ligne plus mince de la lumière que la première a transmise. On a ainsi la possibilité de faire des expériences sur la lumière d'une couleur quelconque; on peut l'examiner avec un prisme; on peut lui faire de nouveau traverser ce prisme, et évaluer son rapport de réfraction; on peut, après avoir isolé de la même manière deux ou un plus grand nombre de couleurs, les réunir ensuite avec un verre de convergence, ou avec un miroir métallique, etc.

§ 10. On a beaucoup agité la question suivante : en combien de couleurs la lumière blanche du soleil est-elle divisée par le prisme? *Newton*, dans son Optique, a toujours reconnu qu'elle l'est en nuances innombrables depuis le violet le plus sombre jusqu'au rouge le plus vif, et que chacune de ces nuances, telle faible qu'elle soit,

(2) La ligne droite est la tangente commune de tous ces cercles, parce qu'ils ont un égal diamètre, et elle est produite par leurs continuelles intersections.

a toujours un rapport de réfraction particulier. Ce sentiment est le seul soutenable pour quiconque a répété les expériences de *Newton*, et même pour quiconque les a étudiées avec attention. C'est pourquoi nous ne nous arrêterons point à expliquer les systèmes dans lesquels on veut regarder la lumière comme composée seulement de trois couleurs primitives, car ces systèmes sont contraires aux faits.

§ 11. Les observations de *Newton* prouvent que les corps qui nous paraissent blancs, réfléchissent également toutes les couleurs du spectre; au lieu que les corps qui nous paraissent colorés, sont tels, parce qu'ils réfléchissent plus abondamment certains rayons, et absorbent le reste : les corps qui nous semblent noirs, sont ceux qui absorbent presque entièrement la lumière qu'ils reçoivent. Ces remarques ne sont pas hypothétiques; mais elles reposent sur des faits rigoureusement constatés.

§ 12. On observe que les corps sont d'autant plus susceptibles d'être échauffés par la lumière du soleil, qu'ils la réfléchissent moins. Comparez ceci avec ce qui a été rapporté ci-dessus dans la section de la Chaleur (pag. 99 et 100, § 5).

Des Iris produits par les lames très-minces.

§ 14. Le prisme n'est pas l'unique moyen que nous ayons de décomposer la lumière solaire en diverses couleurs : des lames très-minces de corps transparens, produisent aussi des effets semblables, ainsi que des bulles de savon (1). *Newton* fit beaucoup de recherches sur ce sujet, et il reconnut que cet effet est commun à toutes les lames minces de corps transparens, même sans en excepter l'air. Il montra que, dans chaque circonstance, la couleur est en rapport avec l'épaisseur de la lame; et que, par conséquent, pour chaque épaisseur différente, il y a, dans la situation des couleurs, un ordre déterminé :

---

(1) Ce que dit ici l'auteur demande une explication. A la vérité, les lames, minces et polies décomposent la lumière blanche qui tombe sur leur surface; mais elles ne la résolvent pas dans ses rayons simples; le prisme seul a cette faculté. Les couleurs réfléchies par les lames minces sont *composées*, et se laissent diviser par le prisme. Je pense aussi que, dans la théorie de ces couleurs, *Newton* est allé beaucoup plus loin que ne le suppose M. *Fischer*. J'ai ajouté quelques détails sur ce sujet, à la fin du livre.

mais il n'est parvenu, ni lui ni aucun de ceux qui l'ont suivi, à ramener la formation de ces couleurs à un principe aussi clair et aussi simple que celui de la formation des couleurs du prisme. Par conséquent, on doit se contenter, relativement à ce phénomène, de la considération générale suivante : c'est qu'il doit y avoir dans une lame mince et transparente, des réfractions et des réflexions très-variées; et ceci fait concevoir pourquoi on y observe une décomposition des couleurs.

§ 15. *Newton* déduisait de ces observations une hypothèse sur les couleurs : il admettait que chaque corps est composé de lames transparentes très-minces, et que chacune de ces lames donne une couleur particulière, en raison de son épaisseur : effectivement, il y a des phénomènes qu'on ne peut guère expliquer autrement : les couleurs changeantes de la nacre de perle, de la pierre de Labrador, etc., doivent avoir une cause semblable : le verre et tous les autres corps transparens et incolores paraissent blancs, lorsqu'ils sont infiniment pulvérisés, parce que chacune des petites particules envoie de la lumière décomposée, et que la lumière blanche est produite par leur mélange, etc. Cependant il se présente beaucoup de difficultés, lorsqu'on veut généraliser les applications de cette hypothèse. Selon toutes les apparences, il existe une sorte d'attraction chimique, au moyen de laquelle chaque corps attire de certains principes constituans de la lumière, et les combine avec lui, de sorte que les autres seulement peuvent être réfléchis selon les lois de la mécanique de la lumière (1).

Observations générales sur la théorie des couleurs de Newton.

§ 16. La partie essentielle de cette théorie, consiste dans des faits incontestables et dans les conséquences qui s'en déduisent naturellement : ainsi ce qu'elle a de plus important reste invariable; mais fréquemment elle a été mal comprise et faussement appliquée.

Surtout on a souvent confondu les couleurs qui sont produites par la décomposition de la lumière solaire, avec celles des substances maté-

---

(1) Cette manière d'envisager les phénomènes, paraît en effet plus simple au premier coup-d'œil; mais quand on l'approfondit, on trouve qu'elle est infiniment moins probable que celle de *Newton;* c'est ce que j'ai tâché de prouver dans mon *Traité de Physique.*

rielles, et on a appliqué à celles-ci, ce que *Newton* avait avancé pour les autres. A la vérité, les couleurs de toutes les matières colorantes, sont indubitablement produites par la réflexion des diverses lumières colorées; mais comme il est probable qu'aucun corps, et par conséquent aucune substance colorante, ne réfléchit la lumière d'une seule couleur fondamentale simple, on ne peut pas attendre que les couleurs de ces substances, suivent les mêmes lois que les couleurs du spectre solaire. On démontre cependant que les couleurs artificielles les plus pures, ressemblent, jusqu'à un certain point, aux couleurs de la lumière solaire : pour cela, on se sert d'un plateau partagé en sept divisions, et où les couleurs principales du spectre solaire, sont imitées aussi exactement qu'il est possible; lorsqu'on tourne le plateau avec une grande rapidité, il paraît tout-à-fait blanc. Ceci s'explique de la manière suivante : les impressions successives que reçoit la rétine, ne disparaissent pas instantanément; en conséquence, nous éprouvons presque le même effet, lorsque plusieurs couleurs se succèdent très-vite, que lorsque leurs rayons parviennent ensemble dans l'œil et s'y confondent réellement.

Lorsqu'un point lumineux infiniment petit est vu par réfraction à travers un prisme triangulaire, chaque espèce de rayon simple qui émane de ce point, en donne une image colorée de sa teinte particulière : l'inégale réfrangibilité des rayons de cette espèce, fait que ces images sont séparées et placées à côté les unes des autres, dans l'ordre que leurs couleurs occupent sur le spectre, celles qui sont formées des rayons les plus réfrangibles, étant les plus déviées. Maintenant si au lieu d'un seul point radieux infiniment petit, on regarde plusieurs points disposés les uns à côté des autres, chacun d'eux produit encore un spectre pareil; mais ces spectres peuvent se superposer en partie; de manière à produire du blanc dans le lieu de leur mélange : c'est ce qui arrive en général, quand on regarde des objets d'une dimension sensible. Aussi quand la surface des objets est blanche et également lumineuse, les parties intérieures de l'image refractée, paraissent blanches, et la coloration de l'image ne se fait sentir qu'aux extrémités, dans le sens général de la réfraction (*).

On explique de la même manière tous les iris qu'on voit à travers un prisme.

---

(1) Nous avons substitué ce passage à celui de l'original.

Effets de la dispersion des couleurs dans les verres optiques.

§ 17. Soit AB, (*fig.* 116), un verre de convergence; à une grande distance au-devant de lui, soit un objet CD dont la lumière blanche vient frapper le verre : il se produit dans ce cas, selon ce qui a été dit ci-dessus (pag. 344 et 345, § 16 et 18), une image renversée KH au foyer postérieur du verre mais : maintenant il est facile de concevoir sans calcul, que la distance focale d'un verre, est dépendante du rapport de réfraction, et qu'elle est d'autant plus courte que le pouvoir de réfraction est plus considérable : en outre, nous avons vu que les rayons violets sont plus fortement réfractés que les rouges : il est donc clair que les diverses couleurs qui composent la lumière, ne peuvent avoir un même foyer. Soit donc V le foyer des rayons violets, et R le foyer des rouges; on conçoit que la lumière blanche de l'objet CD, fera en V une image violette FG de cet objet, en R une image rouge LM; et, entre les deux, des images de chacune des couleurs prismatiques intermédiaires; de sorte qu'entre FG et LM, il y aura une quantité innombrable d'images superposées et colorées diversement. D'après cela, si l'œil de l'observateur est placé au-delà de LM, et qu'il regarde cette image, il ne la verra parfaitement terminée dans aucune de ses parties; l'indétermination s'accroîtra depuis le centre jusqu'aux bords, la couleur rouge dépassera toutes les autres, et l'image entière paraîtra entourée de couleurs irisées.

Cet effet doit avoir lieu dans tous les phénomènes produits par les miroirs sphériques, et il est d'autant plus frappant que la lumière est réfractée davantage, c'est-à-dire, d'autant plus que l'on grossit davantage l'objet.

§ 18. Nous connaissons donc maintenant deux causes de l'indétermination que l'on observe dans tous les instrumens d'optique.

1.° La première dépend de ce qu'il n'y a aucune courbure dans laquelle tous les rayons qui viennent d'un point, soient, en chaque circonstance, exactement réunis de nouveau en un seul point, et que, particulièrement, la courbure sphérique qu'on donne aux surfaces des verres, ne peut jamais effectuer parfaitement une réunion semblable de rayons de la même nature. Les verres et les miroirs ont cette imperfection commune; on la nomme l'*aberration de sphéricité.*

2.° La seconde cause de confusion, dépend du phénomène dont on vient de parler tout-à-l'heure : elle tient à ce que, pour un seul objet, dès que sa lumière est composée, il se produit plusieurs images diversement colorées et de diverses grandeurs, placées les unes derrière les autres. Cette dernière cause d'indétermination est, sans comparaison, plus importante que l'autre; mais elle n'a lieu que pour les verres, et non pas pour les miroirs de métal : on la nomme l'*aberration de réfrangibilité.*

§ 19. L'expérience montre cependant que l'œil supporte de très-fortes aberrations des deux genres, sans qu'elles nuisent à la netteté autant qu'on devrait le supposer d'après les principes théoriques. Néanmoins, dans la fabrication des instrumens d'optique, on conserve, à cause de ces défectuosités, certains rapports entre la distance focale et l'ouverture du verre objectif, et ce soin ne peut être négligé, sans qu'il en résulte dans la netteté une diminution sensible. Aussi, la confection d'un instrument d'optique composé est-elle un travail difficile, et qui demande une connaissance approfondie de la théorie.

§ 20. Le beau phénomène de l'arc-en-ciel s'explique complètement par les lois de la réfraction et de la dispersion des couleurs; mais toute la théorie qui s'y rapporte, est mathématique, et appartient moins à la Physique mécanique qu'à la partie de la Géographie physique qui traite des phénomènes lumineux de l'atmosphère. (*Voyez* l'*Optique de Newton,* et la *Physique de Haüy : voyez* aussi le *Traité de Physique* de M. *Biot.*)

ADDITION.

« 1.° Si on fait converger les sept couleurs du prisme sur une même surface, au moyen de sept miroirs, on reforme du blanc : si l'on réunit d'un côté trois de ces rayons et de l'autre côté les quatre autres, on obtient deux nuances qui sont *complémentaires* l'une de l'autre, ou dont la réunion forme le blanc. Chacune des couleurs du prisme, est bien réellement une couleur simple, puisqu'on ne réussit plus à la décomposer : néanmoins quelques-unes de ces couleurs peuvent être produites artificiellement par la réunion de deux autres ; c'est ainsi que le jaune et le bleu donnent du vert; le rouge et le jaune de l'orangé ; le bleu et le violet de l'indigo; le bleu et le rouge un beau violet : en sorte que quelques physiciens n'ont voulu reconnaître que trois couleurs primitives, savoir : le rouge, le jaune et le bleu ; mais on conçoit aisément comment la réunion de deux couleurs

voisines, peut imiter la couleur intermédiaire. Il est essentiel d'observer que les rayons lumineux que l'on décompose par le prisme, ne fournissent pas toujours la totalité des couleurs du prisme; il faut pour cela qu'ils soient composés d'une lumière parfaitement blanche. Ainsi le soleil à son lever ou à son coucher, ou une lumière artificielle, ne donnent jamais un spectre complet. Il y a des circonstances où le rayon qui colore la surface d'un corps, excite en nous la sensation d'une couleur différente, où, par exemple, une surface naturellement blanche, nous paraît verdâtre; une surface verte agit sur l'œil comme une surface bleue, etc. Ces couleurs qui n'ont lieu qu'en vertu de certaines conditions particulières, ont été nommées *couleurs accidentelles*, pour les distinguer des couleurs naturelles. Le célèbre *Buffon* est un de ceux qui aient fait le plus de recherches sur les couleurs accidentelles, le comte *de Rumford, Prieur* (de la Côte-d'or), et autres. Si sur un morceau de papier, d'étoffe ou de verre d'une couleur rouge, par exemple, on tient une petite bande de carton blanc, parallèlement à la surface colorée et très-près de cette surface, le carton paraîtra bientôt d'un vert bleuâtre, et si on le fait mouvoir avec vitesse, en le tenant toujours à une petite distance de la surface colorée et même en contact avec elle, la couleur devient plus intense. Pour hâter la production de cet effet, on pourra tenir la substance colorée élevée au-dessus du niveau de l'œil et un peu inclinée en avant. On rendra cette expérience plus piquante, en découpant une carte blanche sous la forme d'un petit arbrisseau que l'on colle ensuite sur un papier rouge : si l'on donne à ce papier la position que nous venons d'indiquer, on verra le petit arbrisseau verdir à l'instant. La couleur accidentelle de la petite bande blanche, que nous avons employée plus haut, varie suivant la couleur naturelle de celle qui lui sert comme de fond : ainsi placée sur un papier bleu, elle donne l'orangé rougeâtre; sur un papier violet, le blanc verdâtre; sur un papier vert, le violet rougeâtre; sur un papier orangé, le bleuâtre. La bande de carton peut avoir une couleur déterminée différente de celle du fond : une bande verte devient bleue sur un fond jaune; si elle est orangée, elle deviendra rouge sur le même fond. Le père *Scherffer*, savant jésuite, paraît être le premier qui ait entrepris de donner la théorie de ces apparences singulières (*Journ. de Phys.*, mars 1785, pag. 175 et suiv.), à cet effet, il part de la construction ingénieuse imaginée par *Newton* (*Opt. Lucis*. Lib. I, Pars II, Prop. VI, Probl. II) pour déterminer l'espèce de couleur composée qui doit résulter d'un mélange de couleurs primitives dont les qualités et les quantités relatives sont données. Cependant l'explication de *Scherffer*, toute ingénieuse qu'elle est, n'est pas exempte de difficultés; M. *Laplace* en a proposée une autre. Pour qu'on puisse juger l'une et l'autre opinion, reprenons la petite bande blanche placée sur un fond rouge, laquelle excite dans l'œil l'impression du verd bleuâtre, c'est-à-dire, la couleur qu'offrirait réellement la petite bande, si de sa blancheur on soustrayait la couleur du fond, ou le rouge, en observant que la couleur blanche est donnée par le vert bleuâtre et le rouge : suivant *Scherffer*, lors-

qu'un sens reçoit à la fois deux impressions du même genre, l'une beaucoup plus vive que l'autre, celle-ci est comme neutralisée par la première : or, ici la couleur rouge du fond agissant avec moins de force sur l'œil que la couleur verte, qui est l'autre composante de la couleur blanche de la bande, l'œil n'est sensible qu'à l'impression de la couleur verte. Suivant M. *Laplace*, il existe dans l'œil une certaine disposition en vertu de laquelle les rayons rouges compris dans la blancheur de la petite bande, au moment où ils arrivent à l'œil, sont comme attirés par la couleur rouge prédominante du fond; ensorte que les deux impressions n'en font plus qu'une, et que celle de la couleur verte se trouve en liberté d'agir comme si elle était seule. Suivant cette manière de concevoir les choses, la sensation du rouge décompose celle de la blancheur, et tandis que les rayons homogènes s'unissent ensemble, l'action des rayons hétérogènes qui se trouvent dégagés de la combinaison, produit séparément son effet. On consultera avec fruit le Traité de *Zoonomie* par *Darwin*; traduit de l'anglais par M. le professeur *Kluyskens*.

2.° M. *Morichini*, professeur de chimie à Rome, avait annoncé en 1813, que de petits barreaux d'acier, exposés aux rayons violets du spectre solaire, acquéraient la vertu magnétique : ces expériences ont été répetées sans succès par M. *Configliachi*, de Pavie, ainsi que par M. *Bérard*, de Montpellier. Mist.rss *Somerville* vient de publier sur ce point un mémoire qui a été lu *à la Société royale de Londres, le 2 février* 1826, et qui a pour titre : *Sur le pouvoir magnétique des rayons du soleil, les plus réfrangibles* (*Voyez Corr. Math. et Phys.* Tom. II, pag. 161 et suiv.). Nous ne pouvons ici que rapporter la conclusion de la série d'expériences faites par cette femme célèbre : *Des résultats que j'ai obtenus, je suis induite à croire que les rayons les plus réfrangibles du spectre solaire, ont une influence magnétique, même dans nos climats septentrionaux.* Elle annonce qu'elle remettra ses expériences ultérieures jusqu'à ce que le retour de l'été lui permette de les reprendre. M. *Arago* se propose de répéter les expériences de Mist.rss *Somerville* qui doivent l'être aussi à Bruxelles et à Gand. Outre ces propriétés magnétiques des rayons solaires, on a distingué 1.° leurs propriétés calorifiques; 2.° leurs propriétés chimiques; 3.° leurs propriétés éclairantes. D'après les expériences de *Rochon*, physicien ingénieux, le rayon rouge possède la propriété d'échauffer au plus haut degré, et le rayon violet est celui qui échauffe le moins; il a assigné pour leur rapport celui de 8 : 1 et le célèbre astronome *Herschell* a trouvé 7 : 2 pour le même rapport : suivant MM. *Leslie* et *Bérard*, ce rapport serait de 16 : 1. M. *Leslie* a répété les expériences de MM. *Rochon* et *Herschell* avec son *Photomètre*. MM. *Scheele, Sennebier, Wollaston, Ritter, Beckmann, Bérard, Bailly* ont constaté par des observations et des expériences l'action de la lumière solaire sur les phénomènes chimiques : on a recherché si cette propriété réside au même degré dans tous les rayons. M. *Bérard* a reconnu que du *chlorure*

d'argent tenu pendant deux heures dans la lumière rouge condensée, n'éprouvait pas d'altération sensible, tandis qu'en moins de cinq minutes, il se colorait assez fortement dans la partie violette. Si les expériences d'*Herschell* sont confirmées, le rayon jaune possède le maximum de clarté ; le rayon vert jouit de cette propriété à-peu-près au même degré ; il y a ensuite une dégradation sensible jusqu'au violet où se trouve le minimum.

CHAPITRE XLV.

Du Télescope à miroir, et des Lunettes achromatiques.

§ 1. L'HISTOIRE de l'Optique est si instructive pour ceux qui observent la marche de l'esprit humain, que, dans ce qui nous reste à exposer sur cette matière, nous allons employer la forme historique, et nous n'intercalerons de détails théoriques, que ce qui sera nécessaire pour l'intelligence du sujet.

État de l'Optique avant Newton.

§ 2. Avant que l'on connût avec exactitude la loi de la réfraction (p. 335, 336 et 337, § 3, 6), on ignorait entièrement quelles pouvaient être les causes du défaut de netteté dans les instrumens d'optique (p. 381 et 382, § 18 et 19). Lorsque *Snellius* eut découvert cette loi (pag. 337, § 5), *Descartes* reconnut l'aberration de sphéricité, qui est la première et la plus faible cause de défectuosité (pag. 381, § 18); mais il se trompa en supposant qu'on pouvait remédier à cet inconvénient, en employant pour les verres d'autres courbures que la sphérique; et ce préjugé s'est maintenu jusqu'à notre temps.

Erreurs de Newton dans la théorie des couleurs.

§ 3. *Newton* reconnut que la dispersion des couleurs, est la cause la plus importante de confusion dans les instrumens d'optique (pag. 381, § 18). Aussi long-temps que l'on saura apprécier les sciences, les recherches de ce grand homme sur ce sujet, seront regardées comme des modèles d'exactitude et de sagacité : malheureusement il ne les termina pas, et n'ayant fait que considérer, pour ainsi dire, en passant, une

circonstance dont il ne soupçonnait pas l'importance, il tomba dans des erreurs très-remarquables, et qui eurent des conséquences nombreuses.

§ 4. *Newton* fit toutes ses expériences sur la dispersion des couleurs, avec des prismes d'une seule espèce de verre: pour compléter ses recherches, il aurait fallu nécessairement observer aussi la dispersion des couleurs à travers d'autres milieux transparens. Dans la seconde partie du premier livre de son *Optique*, *Newton* toucha légèrement ce sujet, mais il se trompa dans trois circonstances :

1.° Il fit une fausse observation. Il dit (Exp. 8) qu'il avait fait passer la lumière à travers l'eau et le verre, en variant de beaucoup de manières la surface réfractante, et qu'il avait trouvé que la lumière émergente était toujours colorée, lorsqu'elle n'était pas parallèle à la lumière incidente, et qu'au contraire elle était toujours incolore, lorsqu'elle était revenue au parallélisme. — On a reconnu par la suite la fausseté de cette remarque.

2.° Il supposa tacitement, et sans recherches expérimentales, que la dispersion des couleurs, est soumise aux mêmes lois dans tous les milieux transparens, et par conséquent, il pensa que puisqu'il avait observé avec tant de précision la dispersion des couleurs dans le verre de miroir ordinaire, il n'était besoin, pour les autres milieux transparens, que d'examiner le rapport de réfraction des rayons moyens (pag. 375, § 7), et qu'ensuite en comparant ce rapport avec celui que donne le verre à miroir, qu'il avait observé, on en pouvait déduire proportionnellement les rapports de réfraction pour les autres couleurs du prisme. Ce raisonnement était également inexact, comme la suite l'a appris.

3.° Il déduisit de l'expérience rapportée au commencement de cet article, une loi d'après laquelle la dispersion des couleurs en deux milieux différens, pouvait être comparée; il considéra cette loi comme généralement exacte; mais on a reconnu qu'elle n'approche de la vérité que pour les très-petits angles de réfraction, et que, lors même que l'expérience serait précise, on ne pourrait en conclure aucun principe de la dispersion des couleurs.

§ 5. Si ces idées de *Newton* eussent été conformes à la vérité, il serait facile de comprendre que l'effet de la dispersion des couleurs dans les instrumens d'optique, ne pourrait être empêché par aucun

moyen; car, pour remédier à cette dispersion, il faudrait disposer l'instrument de manière que chaque rayon sortant du dernier verre, redevînt parallèle à la direction qu'il avait avant son entrée dans l'objectif; mais alors on ne verrait, avec un tel instrument, qu'à la même distance où l'on voit à la vue simple, et ce serait seulement avec moins de clarté et de netteté. *Newton* renonça donc aux télescopes dioptriques, parce qu'il ne les crut point susceptibles de perfectionnement. Mais les erreurs de ce grand homme eurent cet effet heureux pour l'Optique, qu'en abandonnant ces recherches, il imagina le télescope à miroir, communément appelé *Télescope newtonien.*

Le Télescope à miroir.

§ 6. La partie essentielle du télescope à miroir de *Newton*, est un miroir de convergence métallique qui tient lieu d'un verre objectif; il est assujéti au fond d'un tube dont la longueur est égale à sa distance focale, de manière que sa face polie est tournée vers l'ouverture opposée, du côté des objets extérieurs. Si l'axe commun de ce miroir et du tube, est dirigé vers un objet éloigné, il se produit au foyer une petite image renversée de l'objet. (*Voyez* pag. 324, § 9). On ne laisse pas cette image se former réellement, mais on la recueille à une distance du foyer, à-peu-près égale au rayon du tube, avec un petit miroir plan, attaché par un support très-mince au milieu de l'axe du tube, et qui fait avec cet axe un angle de quarante-cinq degrés. Ce petit miroir réfléchit donc latéralement la lumière qu'il reçoit du grand miroir; et ainsi l'image que celui-ci devait produire, se trouve effectuée sur le côté du tube, qui est percé en cet endroit; de sorte qu'on peut y regarder l'image au moyen d'une lentille microscopique, comme dans le télescope de *Kepler* (*).

(*) Soit AB l'image d'un objet éloigné, produite à l'aide du miroir concave MVN (*fig.* 120) : de manière que SMA et TGA réprésentent les rayons extrêmes du pinceau lumineux envoyé par le point de l'objet auquel répond le point A de l'image : on concevra de la même manière la formation de l'extrémité B et des points intermédiaires de l'image AB : si l'on détourne cette image au moyen d'un petit miroir plan *de*, incliné de 45° à l'axe HV du miroir concave, il en résultera une seconde image *ab* qui devient l'objet de la vision : les rayons *ar* et *az* passent à travers l'oculaire *kn* situé de côté ou latéralement, et après

Comme il ne se fait aucune dispersion de couleur par la réflexion des miroirs de métal, et que même l'aberration de sphéricité (p. 381, § 18) est alors extrêmement faible, l'image que donne un semblable miroir, est, sans comparaison, plus nette que l'image produite par un verre objectif. Cet appareil permet donc un grossissement beaucoup plus fort, et l'usage apprend qu'avec un télescope catoptrique dont la longueur n'excède pas un petit nombre de pieds, on peut atteindre aussi loin qu'avec un télescope dioptrique de plus de cent pieds.

§ 7. *Gregory* a amélioré le télescope newtonien, en introduisant, à la place du petit miroir plan posé obliquement, un petit miroir de convergence parallèle au grand, et placé de manière à tourner vers lui sa surface polie : ce petit miroir est disposé de sorte que son foyer soit un peu au-dehors de la distance focale du grand miroir. D'après cela, si l'on considère l'image renversée produite par le miroir objectif comme un objet qui jette sa lumière sur le petit miroir, on voit facilement (pag. 324, § 9, *fig.* 79) que celui-ci donnera une seconde image un peu plus grosse, et renversée. Le petit miroir peut être tellement placé, que cette image tomberait derrière le grand miroir, si la lumière pouvait le traverser : pour effectuer la formation de cette image, on pratique au centre du grand miroir, une ouverture circulaire, à-peu-près de la même dimension que le petit miroir, et par laquelle passe la lumière qu'il réfléchit. Il se produirait donc derrière le grand miroir, une image des objets éloignés ; mais avant qu'elle ne se forme, on rassemble la lumière au moyen d'un verre collecteur ; on concentre aussi les rayons dans une image plus petite (pag. 364, § 5, *fig.* 108), qu'on regarde enfin à travers une lentille microscopique. Cet ingénieux instrument a principalement sur celui de *Newton*, l'avantage de montrer les objets droits, et dans la direction où ils sont effectivement (*)

§ 8. Pour obtenir le grossissement le plus considérable qu'on

---

s'être refractés en passant dans l'air, suivant des directions *uy* et *qh*, à-peu-près parallèles, se dirigent vers l'œil O, et lui font voir l'image amplifiée sous l'angle *qox*, et d'ailleurs renversée.

(*) Nous conseillons au lecteur qui désirerait plus d'instruction sur cette matière, de lire dans le second volume de la Physique de *Haüy*, le titre : *de la vision aidée par les instrumens composés de plusieurs verres.*

puisse avoir, et remédier au défaut de lumière qui est commun à tous les télescopes à miroir, le célèbre *Herschell* vient de reprendre l'appareil newtonien, mais en y joignant une modification qui n'est applicable qu'aux très-grands instrumens de cette espèce : il ôte tout-à-fait le petit miroir et dirige le tube du télescope vers un objet qui n'est pas dans l'axe, mais au-dessus : supposons que ce soit vers une étoile, et concevons un rayon qui va de cette étoile au centre du miroir. Dans ce cas, le tube doit être placé de manière que ce rayon passe tout près de son bord supérieur; mais alors ce même rayon est visiblement réfléchi vers le bord inférieur opposé de l'ouverture du tube; et si la longueur de celui-ci est égale à la distance focale du miroir, il se produit une image de l'étoile près du bord inférieur de cette ouverture. On peut donc alors voir cette image immédiatement, avec une lentille, pourvu cependant que l'ouverture du tube soit assez grande pour que la partie que cache la tête de l'observateur, ne soit pas considérable, relativement à l'ouverture entière. Par cette disposition on gagne en netteté, en lumière et en grossissement.

Recherches ingénieuses d'Euler; ses erreurs. — Dollond. — Klingenstiern.

§ 9. Les erreurs de *Newton* demeurèrent ignorées durant cinquante ans; et même le grand *Euler*, le plus profond analyste du siècle passé, sembla n'avoir pas connu l'expérience de *Newton* et les conséquences qui s'en déduisent, lorsqu'en 1747, il concluait de la simple inspection de l'œil humain, qu'il serait possible de remédier à la dispersion des couleurs, produite par la réfraction, puisque ce défaut n'existe pas dans nos yeux. Il fut conduit par sa pénétration à reconnaître, dans la combinaison de plusieurs substances transparentes, le moyen employé par la nature pour produire ce chef-d'œuvre. Il crut possible d'imiter cet effet en posant l'un sur l'autre deux verres convexes-concaves, et remplissant d'eau l'intervalle vide qui se trouvait entre eux : il appliqua toute la puissance de son calcul à cet objet important; mais pour réussir, il aurait fallu que la force avec laquelle l'eau disperse les couleurs, fût déterminée avec autant d'exactitude que celle du verre l'avait été par les expériences de *Newton*.

Deux méthodes s'offrirent ici à *Euler* : celle de l'expérience et celle des raisonnemens théoriques : il choisit la dernière, comme si cet homme célèbre eût dû prouver par son exemple, que les spéculations mathématiques égarent, lorsqu'elles dédaignent de se laisser guider par l'expérience : il supposa, comme *Newton*, que la dispersion des couleurs est soumise à la même loi dans tous les milieux réfringens, et il chercha à découvrir cette loi : il en trouva une qui satisfaisait à toutes les conditions qu'on pouvait exiger, et prouva qu'elle était la seule qui pût avoir cet avantage. Cette loi était entièrement différente de celle de *Newton*; mais il paraît qu'*Euler* n'avait eu aucune connaissance de cette dernière. Il calcula donc, d'après sa loi propre, comment les deux faces d'un verre objectif composé de verre et d'eau, devaient être disposées pour donner des images incolores. (*Histoire de l'Académie de Berlin*, 1747, pag. 174.)

§ 10. Les recherches d'*Euler* firent beaucoup de sensation. Les artistes les plus habiles essayèrent d'exécuter des verres objectifs, d'après ses principes; mais leurs tentatives furent vaines. L'aîné des *Dollond*, excellent artiste anglais, reconnut d'abord la contradiction qui existait entre les lois de *Newton* et d'*Euler* sur la dispersion de la lumière; et comme celles d'*Euler* ne paraissaient pas se confirmer dans la pratique, il crut que la vérité était du côté de *Newton*. *Euler*, sans examiner les expériences ni les calculs de *Newton*, se contenta de démontrer, par les raisonnemens les plus rigoureux, que sa loi était la seule possible (*Histoire de l'Académie de Berlin*, 1753, p. 294), et attribua la non réussite des essais pratiques, à l'excessive difficulté de l'exécution.

§ 11. *Klingenstiern*, géomètre suédois fort habile, soumit l'assertion de *Newton*, sur cet objet, à un examen rigoureux, et trouva qu'on pouvait déduire de l'expérience de *Newton* (pag. 386, § 4), non pas seulement une unique loi, mais un très-grand nombre, et qu'elles se détruisaient les unes les autres : de là il conclut qu'il devait y avoir quelqu'erreur dans cette expérience. (*Abhandl der Schwedisch Acad.*, 1754.)

§ 12. Ceci engagea *Dollond* à répéter l'expérience de *Newton* : il reconnut qu'elle était fausse, mais en même temps il se convainquit aussi que la loi d'*Euler* n'était pas exacte, puisque les résultats de son expérience, n'y étaient pas conformes. Cependant, comme

l'opinion d'*Euler* sur la possibilité d'une réfraction incolore, déduite de la construction de l'œil, lui paraissait d'une grande justesse, il entreprit de nouvelles recherches par la voie de l'expérience ; et il trouva que l'alliance du verre et de l'eau, ne pouvait être convenable à ce but. Il examina différentes espèces de verres, et reconnut qu'il en est qui réfractent la lumière plus que d'autres, et qui dispersent les couleurs beaucoup plus fortement que le verre ordinaire. Après beaucoup d'essais, il obtint de deux prismes qui étaient placés l'un contre l'autre, avec les angles réfringens opposés, une lumière émergente incolore, quoique la réfraction fût encore assez considérable : l'un de ces prismes était de crown-glass anglais (1), et avait un angle réfringent de 30°; l'autre était de flint-glass (2), et son angle réfringent était de 19°.

§ 13. D'après cette épreuve, *Dollond* fut assuré de la possibilité d'avoir un verre objectif qui transmît des images incolores, en employant les deux sortes de verres dont il avait fait usage: il y parvint effectivement en réunissant un verre convexe de crown-glass et un verre concave de flint-glass. Ainsi, il fut l'inventeur des lunettes *achromatiques*, c'est-à-dire, incolores.

§ 14. *Euler* répara très-complètement l'erreur qui avait donné lieu à cette intéressante découverte, en entreprenant un travail qu'il n'aurait peut-être pas fait sans cela : non-seulement il ramena à des formules générales, et cependant très-simples, la théorie de l'aberration de réfrangibilité ; mais il y soumit aussi la théorie, bien plus difficile, de l'aberration de sphéricité. Ainsi, maintenant on peut calculer sans peine ces deux causes de confusion, pour chaque position du verre : il montra, de plus, qu'un triple objectif composé de deux verres convexes de crown-glass, séparés par un verre concave de flint-glass, aurait beaucoup d'avantage sur celui de *Dollond* : il indiqua quelle serait la meilleure disposition de l'oculaire, lorsqu'on emploierait un semblable objectif, et sur-tout il donna à toutes ses recherches une telle généralité, qu'elles peuvent être maintenant appliquées à tous les instrumens d'optique imaginables :

---

(1) C'est une espèce de verre à miroir, de couleur verdâtre.

(2) Espèce de verre blanc, dans la composition duquel il entre beaucoup d'oxide de plomb.

enfin il montra que, si la théorie peut errer quelquefois, elle conduit, lorsqu'elle a pris la route véritable, beaucoup plus loin que ne pourrait le faire la simple méthode des expériences. *Euler* publia tous ses travaux d'Optique, dans un ouvrage qui porte pour titre : *Dioptrica, auctore Euler; Petropoli*, 1769—1771. Depuis, *Klügel* a rendu un grand service à l'Optique, en exposant la théorie d'*Euler* d'une manière abrégée, mais facile à comprendre, dans le livre intitulé : *Analytische Dioptrik ; Leipzig*, 1778. Ces deux ouvrages sont les sources où doivent être puisées désormais toutes les connaissances d'Optique.

Nous devons aussi mentionner ici l'*Histoire de l'Optique*, par *Priestley*, qui a autant d'intérêt pour le physicien profond, qu'elle offre d'instruction et de facilité aux gens du monde.

§ 15. L'erreur d'*Euler* consistait proprement en ce qu'il cherchait une loi où il n'y en a aucune; car on s'est assuré, par l'examen de plusieurs espèces de verres, que les différens rapports qui se trouvent entre la réfraction de la lumière et de la dispersion des couleurs, ne dépendent d'aucune loi générale, mais seulement des propriétés particulières des substances réfringentes; par conséquent, qu'on ne peut les trouver que par des recherches immédiates sur chaque cas. Rien ne fait mieux ressortir la justesse de cette opinion, que les expériences intéressantes que M. le professeur *Zeiher*, de Pétersbourg, a faites sur différentes sortes de verres : il a trouvé qu'une addition d'oxide de plomb changeait beaucoup la dispersion des couleurs, quoique la réfraction moyenne ne fût que très-peu altérée : avec une addition d'alkali, c'est le contraire. (*Voyez Gehler.*)

§ 16. La construction des lunettes achromatiques, n'est pas sans difficulté, et quoiqu'on en fabrique maintenant ailleurs qu'en Angleterre, cependant les seuls Anglais possèdent le flint-glass qui y est employé. Jusqu'à présent, aucun artiste n'est parvenu à fabriquer de grands instrumens de cette espèce ; et c'est pour cela qu'*Herschell*, ainsi que nous l'avons dit, est revenu au télescope à miroir pour obtenir des grossissemens très-considérables. Pour les instrumens de moyenne grandeur, ceux qui sont faits d'après ces principes, ont des avantages très-marqués, non-seulement sur les lunettes dioptriques ordinaires, mais aussi sur le télescope à miroir,

par leur netteté, leur parfaite lumière et la grandeur de leur champ (1).

Dans les microscopes composés, il n'est pas possible de faire la lentille objective achromatique, parce que les verres dont il la faudrait composer, seraient si petits, qu'on ne pourrait pas les travailler avec exactitude.

ADDITIONS MATHÉMATIQUES.

§ 17. Nous allons encore ajouter ici, en faveur de ceux de nos lecteurs qui possèdent les connaissances nécessaires, quelques détails mathématiques qui doivent donner des idées précises sur la théorie des couleurs, et sur la possibilité de produire des images achromatiques.

§ 18. *Expérience*. Soient deux milieux quelconques ABDC et CDFE (*fig.* 117), terminés par des surfaces planes, et qu'il se trouve au-dessus de AB et au-dessous de EF, un même milieu dont la force de réfraction soit différente de celle de ces milieux; si l'on conçoit un rayon GH qui se réfracte aux points H, I, K, le rayon émergent KL est toujours parallèle au rayon incident GH, et par conséquent incolore.

§ 19. *Théorème*. Soit $n : 1$ le rapport de réfraction de l'air pour un milieu quelconque A; et $m : 1$ le rapport de réfraction de l'air pour un autre milieu B; le rapport de réfraction du milieu A pour le milieu B, est $\frac{m}{n}$.

Démonstration. Supposons qu'il ait y de l'air au-dessus de AB, et au-dessous de EF (*fig.* 117); qu'il se trouve entre AB et CD le milieu A, et entre CD et EF le milieu B, qu'on mène par H, I et K, les perpendiculaires MN, OP et QR, et qu'on admette le rapport de réfraction de A à B, égal à $\frac{x}{y}$: on a

$$\sin GHM : \sin NHI = n : 1,$$
$$\sin HIO : \sin PIK = x : y,$$
$$\sin IKQ : \sin RKL = 1 : m.$$

Maintenant, NHI = HIO et PIK = IKQ, enfin (§ 18) GHM = RKL : on a donc, en composant ces trois propositions,

$$1 : 1 = nx : my;$$

par conséquent $nx = my$; d'où il suit que

$$x : y = m : n.$$

---

(1) Depuis la première édition de cet ouvrage, on est parvenu à faire en grand le flint-glass en France et en Allemagne, et on en a construit des lunettes égales, si ce n'est supérieures, aux meilleures lunettes de *Dollond* et de *Ramsden*.

§ 20. *Théorème.* Soient CAB et ABD (*fig.* 118), la coupe *perpendiculaire* de deux prismes de différens pouvoirs réfringens placés l'un contre l'autre; soient $m : 1$ le rapport de réfraction du premier, et $n : 1$ celui du second ; qu'un rayon EFGHI soit réfracté par ces prismes, ainsi que le montre la figure; qu'on prolonge le rayon incident EF, et le rayon émergent HI, jusqu'à ce qu'ils se coupent en Q ; et qu'on admette que les rapports constans de réfraction s'appliquent aux angles considérés comme très-petits : alors l'angle sous lequel le rayon est détourné par toutes ces réfractions, de sa direction primitive, sera

$$IQR = (n - 1)\, CAB - (m - 1)\, ABD.$$

Démonstration. On élève aux points F, G et H, les perpendiculaires incidentes KL, SM, NO, et on les prolonge jusqu'à ce que la première coupe la seconde en L, et que celle-ci coupe la troisième en N. Soient, pour abréger,

$$CAB = A;\ ABD = B;\ EFK = F.$$

On doit remarquer d'abord que les angles formés par les deux perpendiculaires incidentes qui tombent sur chaque prisme, sont égaux à l'angle réfringent de chacun des prismes; par conséquent

$$SLF = CAB = A;\ HNG = ABD = B.$$

D'après cette supposition, on a

$$EFK : LFG = n : 1;\ \text{donc}\ LFG = \frac{1}{n} F;$$

$$LGF = SLF - LFG = A - \frac{1}{n} F;$$

de plus (§ 19),

$$LGF : HGM = m : n;$$

d'où l'on tire

$$HGM = \frac{n}{m} LGF = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F;$$

conséquemment

$$NHG = HGM - HNG = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F - B;$$

et comme

$$NHG : IHO = 1 : m,$$

on a

$$IHO = m.NHG = nA - F - mB.$$

Mais alors

$$IQR = QHP + HPQ = QHP + FGP + PFG;$$

on a d'ailleurs, d'après ce qui précède,

1.° $QHP = IHO - NHG = nA - F - mB - \frac{n}{m} A + \frac{1}{m} F + B;$

2.° $FGP = HGM - LGF = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F - A + \frac{1}{n} F$;

3.° $PFG = EFK - LFG = F - \frac{1}{n} F$.

Par conséquent

$$IQR = (n - 1) A - (m - 1) B.$$

§ 21. Les rapports de réfractions $n : 1$ et $m : 1$, se peuvent tirer des rayons de moyenne réfraction. Pour les rayons violets les plus réfrangibles, ces rapports peuvent être $N : 1$ et $M : 1$; et alors, l'angle dont le rayon violet se trouvera dévié de sa direction primitive, après toutes les réfractions, sera

$$IQR = (N - 1) A - (M - 1) B.$$

Maintenant, si la lumière émergente est incolore, les rayons des différentes couleurs sont parallèles les uns aux autres, après la réfraction ; par conséquent, l'angle IQR est égal pour tous. Ainsi, en égalant sa valeur à celle que donnent les rayons moyens, on aura l'équation

$$(n - 1) A - (m - 1) B = (N - 1) A - (M - 1) B;$$

d'où l'on tire

$$(N - n) A = (M - m) B,$$

ou

$$M - m : N - n = A : B.$$

D'après les expériences de *Dollond* (pag. 390, § 12), le crown-glass et le flint-glass donnent une réfraction incolore, lorsque $A = 30$, et $B = 19$; on a donc, relativement à ces deux substances,

$$N - n : M - m = 19 : 30,$$

ou presque exactement,

$$N - n : M - n = 2 : 3.$$

On nomme les valeurs $N - n$ et $M - m$, *la mesure de la dispersion des couleurs* : ce rapport ne peut être, jusqu'à présent, déterminé par aucune loi générale ; mais il peut seulement être reconnu, pour chaque cas, par des expériences immédiates, semblables à celles de *Dollond* (1).

§ 22. *Remarque.* Si les expériences de *Newton* (p. 386, § 4) étaient exactes, IQR devrait être $= 0$, aussi bien pour les rayons moyens que pour les violets, lorsque la lumière émergente est incolore; on aurait alors

$$(n - 1) A = (m - 1) B,$$

---

(1) J'ai exposé, dans mon Traité de Physique, un procédé extrêmement précis que nous avons imaginé M. *Cauchoix* et moi, pour mesurer le rapport de compensation de deux substances quelconques solides ou fluides, et nous en avons fait un grand nombre d'applications.

ou

$$m - 1 : n - 1 = A : B;$$

de plus

$$(N - 1)\,A = (M - 1)\,B;$$

par conséquent

$$M - 1 : N - 1 = A : B.$$

De là suivrait

$$M - 1 : m - 1 = N - 1 : n - 1.$$

Or, la différence des deux premiers termes est au second, comme celle des deux derniers est au quatrième : c'est-à-dire

$$M - m : m - 1 = N - n : n - 1,$$

ou

$$M - m : N - n = m - 1 : n - 1.$$

Telle était la loi de *Newton*. Elle était fausse : 1.° parce qu'elle se fondait sur des observations inexactes; 2° parce qu'elle supposait que le rapport de réfraction appartient à l'angle même, ce qui n'approche de la vérité que pour les très-petites réfractions. Lorsqu'on fait le calcul exactement, et sans rien négliger, l'expérience de *Newton* ne donne aucun rapport déterminé (p. 390, § 11).

§ 23. La première loi d'*Euler* était très-différente de celle-ci; il croyait que M devait dépendre de m, de la même manière que N de n, et il montrait fort exactement que cela ne pouvait être possible, que dans le cas où l'on aurait

$$\log M : \log m = \log N : \log n.$$

§ 24. *Problème*. Concevons en A, (*fig.* 119), un verre sphérique pour lequel le rapport moyen de réfraction soit $n : 1$; prenons un second verre d'une autre substance, pour lequel le rapport moyen de réfraction soit $m : 1$, et plaçons-le tout près contre le premier, de sorte que leur distance AB puisse être considérée comme nulle; ces deux verres doivent être disposés de manière à avoir le même axe AD. En vertu de cet arrangement, les images des objets éloignés, vus par réfraction, se formeront à une certaine distance déterminée qui dépendra des données précédentes.

Soit la distance focale du premier verre $= p$, celle du deuxième $= q$, quels que soient d'ailleurs leurs signes; f et g sont les rayons des deux surfaces du premier verre, h et i les rayons des surfaces du second. D'après l'article 31, (pag. 355 et 356), si l'on fait, pour abréger

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{g} = F, \text{ et } \frac{1}{h} + \frac{1}{i} = H,$$

on aura, en vertu de la formule $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g}$ (pag. 356),

$$\frac{1}{p} = (n - 1)\,F; \quad \frac{1}{q} = (m - 1)\,H.$$

Soient maintenant C le foyer du premier verre que nous avons désigné par a : l'image d'un objet infiniment éloigné, qui est donnée par ce verre, sera en C. Cette image prend, pour les deuxième verre, la place d'un objet, et l'image qui s'en produit à travers ce deuxième verre, se trouve en D; ainsi BD est la quantité d'où dépendent tous les effets.

Dans la formule générale, $\frac{1}{p}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$ (pag. 357, § 31), on doit, dans notre cas particulier, au lieu de p, écrire q, et — BC au lieu de α, puisque l'objet est à la distance BC derrière le verre; mais comme nous supposons AB $=$ o, nous avons BC $= -$ AC $= -p$, et nous trouvons

$$\frac{1}{q}=-\frac{1}{p}+\frac{1}{\mathrm{BD}}, \text{ou} \frac{1}{\mathrm{BD}}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q},$$

ou, si l'on met pour $\frac{1}{p}$ et $\frac{1}{q}$ leurs valeurs ci-dessus données, on aura

$$\frac{1}{\mathrm{BD}}=(n-1)\,\mathrm{F}+(m-1)\,\mathrm{H};$$

par conséquent

$$\mathrm{BD}=\frac{1}{(n-1)\,\mathrm{F}+(m-1)\,\mathrm{H}}.$$

§ 25. Soit le rapport de réfraction pour les rayons les plus réfrangibles N : 1 dans le premier verre, M : 1 dans le second. Si E est alors la place où se trouve l'image produite par les rayons les plus réfrangibles, d'après le § 24, on aura

$$\mathrm{BE}=\frac{1}{(\mathrm{N}-1)\,\mathrm{F}+(\mathrm{M}-1)\,\mathrm{H}}.$$

Maintenant, si l'assemblage doit être achromatique, les images de toutes les couleurs doivent se réunir en une seule : par conséquent l'on doit avoir BE $=$ BD; d'où il suit que

$$(n-1)\,\mathrm{F}+(m-1)\,\mathrm{H}=(\mathrm{N}-1)\,\mathrm{F}+(\mathrm{M}-1)\,\mathrm{H},$$

ou

$$(\mathrm{N}-n)\,\mathrm{F}+(\mathrm{M}-m)\,\mathrm{H}=0.$$

Maintenant, comme on a

$$\frac{1}{p}=(n-1)\,\mathrm{F}, \text{ d'où } \mathrm{F}=\frac{1}{(n-1)\,p};$$

et

$$\frac{1}{q}=(m-1)\,\mathrm{H}, \text{ d'où } \mathrm{H}=\frac{1}{(m-1)\,q};$$

on obtient

$$\frac{(N-n)}{(n-1)p}+\frac{(M-m)}{(m-1)q}=0;$$

ou, en multipliant par pq, et transposant le second membre,

$$\frac{(N-n)}{(n-1)}q=-\frac{M-m}{(m-1)}p;$$

d'où on tire

$$p:q=\frac{N-n}{n-1}:-\frac{M-m}{m-1};$$

les distances focales des deux verres, doivent donc être dans ce rapport, pour qu'il se produise à travers eux une seule image incolore.

§ 26. D'après les expériences de *Dollond*, le rapport de réfraction des rayons moyens dans le crown-glass, est de 1,55 : 1, par conséquent $n-1=0{,}55$; dans le flint-glass, ce rapport est de 1,58 : 1, par conséquent $m-1=0{,}58$; la dispersion des couleurs dans les deux verres, étant comme 19 : 30 (pag. 390, § 12), on a

$$N-n:M-m=19:30;$$

il suit de là, par conséquent, que

$$p:q=\frac{19}{0{,}55}:-\frac{30}{0{,}58};$$

c'est-à-dire

$$p:q=1:-1{,}497\ldots\ldots$$

Le dernier terme de cette proposition étant négatif, il s'ensuit que le verre qui est de flint-glass, doit être un verre de divergence.

Quoique ce résultat soit très-exact en théorie, il ne serait pas très-certain pour les applications, puisque *Dollond* ne donne le rapport 19 : 30 de la dispersion des couleurs, que comme approché seulement.

Pour la construction effective, il faudrait faire encore un calcul un peu plus difficile, c'est-à-dire, évaluer les dimensions les plus avantageuses des rayons f, g, h et i; au reste, on conçoit facilement par les formules

$$\frac{1}{p}=\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g};\ \frac{1}{q}=\frac{m-1}{h}+\frac{m-1}{i},$$

que ces rayons peuvent varier d'une infinité de manières pour la même distance focale. En choisissant convenablement leurs valeurs, l'aberration de sphéricité peut aussi, d'après la théorie d'*Euler*, disparaître entièrement, ou être du moins fort affaiblie ; de sorte que des verres objectifs calculés exactement de cette manière, sont exempts des deux causes de confusion. (*Voyez*, sur ces calculs, *Euler* et *Klügel*.)

C'est dans la correction de cette aberration de sphéricité, que se trouve le moyen de donner proportionnellement une plus grande ouverture à ces verres objectifs qu'à tous les verres et miroirs simples; c'est encore la cause de la parfaite lumière des lunettes achromatiques. Quant à la grandeur du champ, elle dépend de la disposition de l'oculaire (*).

ADDITIONS A L'OPTIQUE.

Plusieurs phénomènes d'Optique relatifs à la Physique de la lumière, ayant acquis beaucoup d'importance depuis quelques années, nous allons essayer d'en donner ici, non pas un tableau détaillé, ce qui ne conviendrait point au plan de cet Ouvrage, mais une esquisse qui en indique les principaux résultats.

Anneaux colorés.

Lorsqu'on pose l'une sur l'autre les surfaces de deux morceaux de verre polis, qui ne sont pas tout-à-fait plans, la couche d'air, qui adhère naturellement à ces surfaces, a ordinairement déjà toute l'épaisseur nécessaire pour que son action sur la lumière soit complète; c'est-à-dire qu'elle réfléchit et réfracte toutes les couleurs de la lumière comme ferait un corps d'une épaisseur indéfinie. Mais si l'on frotte les deux verres l'un contre l'autre, en les pressant avec force pour exclure une partie de cet air qui les sépare, on ne tarde pas à sentir

(*) Ici se termine la deuxième édition de la Physique de M. *Fischer,* avec les notes de M. *Biot*, publiée à Paris en 1813; nous ne connaissons pas la première : une quatrième édition a été faite à Gand, sur la troisième qui contenait un appendice sur les anneaux colorés, sur la double réfraction, et sur la polarisation de la lumière, par M. *Biot,* avec des notes, par l'*Éditeur* de cette quatrième édition : cet appendice est refait, en partie, par l'éditeur de la quatrième édition, qui s'est chargé de la cinquième. On a cru devoir conserver le caractère employé dans le texte, parce que ces additions forment, pour ainsi dire, une continuation de la huitième section.

entre eux une adhérence qui est ordinairement plus considérable en certaines parties que dans d'autres, soit parce que leurs surfaces sont toujours un peu courbes, soit parce qu'on les fléchit toujours en les pressant fortement; on obtient ainsi une couche d'air plus mince que la précédente, et dont l'épaisseur va en croissant de tous côtés, depuis le point où les surfaces superposées se touchent, ou sont le plus près de se toucher, jusqu'aux endroits où elles sont le plus écartées. Alors, si l'on présente les prismes au grand jour, en les tournant de telle sorte que l'œil puisse recevoir la lumière des nuées, réfléchie partiellement par la lame d'air qui les sépare, on y aperçoit un nombre plus ou moins considérable d'anneaux colorés qui, lorsqu'on a pressé suffisamment les verres, environnent une tache noire, correspondante au point de contact.

On peut former des anneaux colorés en pressant l'une contre l'autre deux lames transparentes formées de toutes sortes de substances; on peut en former, en posant une surface de verre sur un plan de résine, de métal, de verre métallique, ou de tout autre corps poli. Les anneaux, ainsi formés, subsistent encore dans le vide le plus parfait que nous puissions produire. Il n'est pas non plus nécessaire à leur formation, que la lame mince soit d'air, ni qu'elle soit comprise entre deux corps solides : une couche d'eau, d'alcool, d'éther ou de toute autre substance évaporable, étendue sur un verre noir, produit des couleurs pareilles, lorsque l'évaporation l'a rendue suffisamment mince; on les voit encore sur les lames de verre soufflées à la lampe, quand elles sont suffisamment amincies.

De quelque manière et dans quelques circonstances que les anneaux se forment, la succession de leurs nuances, à partir de la tache noire centrale, est toujours la même; on ne voit de différence que dans leur vivacité qui change selon que la force réfléchissante de la lame est plus ou moins énergique; et dans leur configuration qui dépend de la loi suivant laquelle l'épaisseur de la lame varie en différens points. En effet, pour chaque substance, la couleur réfléchie en chaque point, dépend de l'épaisseur de la lame et de l'incidence sous laquelle la réflexion s'opère. La couleur est constante dans une même substance, quand ces deux élémens sont constans, et elle change quand ils varient.

Nous avons jusqu'ici supposé que l'on regardait la lame mince par

réflexion; si on la regarde par transmission, on y aperçoit aussi des anneaux disposés comme les premiers, et correspondans en tout à leurs inflexions, mais plus pâles et de couleurs différentes.

Cela doit être en effet, puisque, là où la lumière incidente est décomposée par la réflexion, il faut bien que la lumière transmise, qui contient les couleurs non réfléchies, soit aussi colorée; et, en effet, les couleurs de ces anneaux transmis, sont, généralement, d'une nature complémentaire de celles des anneaux réfléchis auxquelles elles répondent, c'est-à-dire que l'ensemble des deux ferait du blanc.

D'après cela, pour découvrir les lois de ces phénomènes, il faut évidemment les étudier dans des cas où la succession des épaisseurs soit régulière et connue. C'est ce qu'a fait *Newton*, et il a porté dans cette recherche un soin qui ne peut être expliqué que par l'importance qu'il prévoyait dès-lors à ses conséquences: il a formé les anneaux, en posant simplement un verre convexe d'un grand rayon, et d'une sphéricité parfaite sur un verre parfaitement plan; alors l'épaisseur de la lame d'air étant symétriquement croissante autour du point de contact, les anneaux sont parfaitement circulaires autour de la tache noire qui se forme en ce point. On peut donc mesurer leurs diamètres sous une même incidence, et de là, d'après la courbure connue des verres, conclure les épaisseurs de la lame d'air au point où chaque couleur paraît. En répétant l'observation sous des incidences variées, depuis la perpendiculaire jusqu'aux plus obliques, on peut suivre les variations que cet élément produit dans les anneaux; on voit ainsi qu'ils s'agrandissent à mesure que l'obliquité augmente; et, en mesurant leurs diamètres, on peut calculer les épaisseurs successives auxquelles une même couleur vient paraître. *Newton* a répété les mêmes mesures sur des lames minces d'eau, comprises entre deux verres; il les a répétées sur les bulles minces d'eau savonneuse, que l'on souffle au bout d'un chalumeau. Ces bulles étant posées sur un verre plan, y deviennent parfaitement hémisphériques, et en les couvrant d'une cloche de verre, elles durent assez long-temps pour qu'on puisse en observer à loisir les belles couleurs. Il a trouvé ainsi, que les épaisseurs auxquelles les mêmes couleurs paraissaient, étaient moindres que dans l'air, suivant la proportion de 3 à 4, qui est précisément celle des rapports de réfraction pour ces deux substances. D'autres essais sur les lames de verre, lui

firent généraliser cette conséquence que beaucoup d'autres expériences ont depuis parfaitement confirmée. Il a réuni tous ces résultats en tables empyriques qui en expriment les lois en nombres.

Mais ces lois étaient encore compliquées par une circonstance qui était la réfrangibilité inégale de la lumière dont les lames minces étaient éclairées. Pour donner au phénomène toute sa simplicité, *Newton* a formé les anneaux avec de la lumière simple, en regardant dans la chambre obscure un papier blanc éclairé successivement par les couleurs simples du prisme. Ce papier ainsi éclairé, et vu par réflexion sur les lames minces, devenait comme une sorte de ciel, coloré de la seule teinte dont on l'éclairait. De cette manière, *Newton* a reconnu les résultats suivans :

1.° Chaque rayon simple produisait des anneaux de sa propre couleur, soit par réflexion, soit par transmission; les anneaux étaient entièrement rouges dans la lumière rouge, jaunes dans la lumière jaune, et ainsi du reste.

2.° Dans chaque espèce de lumière, les anneaux réfléchis étaient séparés par des intervalles obscurs, ce qui les rendait beaucoup plus distincts qu'en plein jour, et faisait qu'on en pouvait discerner un bien plus grand nombre : ils s'approchaient de plus en plus les uns des autres, à mesure qu'ils s'éloignaient de leur centre qui formait le premier et le plus intérieur des anneaux obscurs.

3.° Les intervalles obscurs qui séparaient les anneaux lumineux réfléchis, formaient à leur tour des anneaux lumineux quand ils étaient vus par transmission; et il y avait entre eux des intervalles plus sombres, correspondans aux endroits sur lesquels la lumière se réfléchissait le plus abondamment : mais ces intervalles sombres n'étaient pourtant pas noirs, parce que la réflexion sur une lame d'air, est bien loin d'être totale, même dans la partie la plus brillante des anneaux réfléchis; et il en est ainsi sur toutes les lames minces diaphanes, de nature quelconque, comme nous l'avons déjà remarqué.

4.° En observant les anneaux lumineux réfléchis, *Newton* trouva qu'ils ne formaient pas de simples lignes mathématiques; chacun d'eux occupait un certain espace circulaire dans lequel l'intensité de la lumière allait en se dégradant de part et d'autre indéfiniment.

5.° En mesurant les diamètres des anneaux réfléchis, dans les

points les plus lumineux de leurs orbites, il trouva que, pour chaque espèce particulière de rayons, les carrés de ces diamètres suivaient la progression arithmétique des nombres impairs, 1, 3, 5, 7...; par conséquent, les épaisseurs de l'air, dans les périmètres des anneaux successifs, formaient aussi une progression semblable; car, entre deux verres sphériques, ces épaisseurs sont proportionnelles aux carrés des diamètres. Lorsque les verres étaient illuminés par la partie la plus brillante du spectre, qui répond à la limite du jaune et de l'orangé, le diamètre absolu du sixième anneau, était le même, à peu de chose près, qu'on l'avait trouvé dans les expériences faites au grand jour, en le mesurant au point le plus brillant de l'anneau composé.

6.° En mesurant aussi les diamètres des anneaux obscurs compris entre ceux dont nous venons de parler, il se trouva que, pour chaque espèce particulière de rayons, les carrés de leurs diamètres, suivaient la progression arithmétique des nombres pairs 2, 4, 6, 8...., et par conséquent les épaisseurs de l'air, dans le périmètre de ces anneaux, suivaient aussi une progression semblable.

7.° Par d'autres mesures, prises sur les anneaux transmis, il se trouva que leurs parties les plus brillantes répondaient aux intervalles les plus obscurs des anneaux réfléchis, et que, au contraire, leurs parties les plus obscures répondaient aux parties les plus brillantes de ces mêmes anneaux. D'où l'on voit que, dans les anneaux transmis, les épaisseurs de l'air suivent dans les parties brillantes, la progression des nombres pairs 2, 4, 6, 8....; et dans les intervalles obscurs, la progression des nombres impairs 1, 3, 5, 7....

8.° Les dimensions absolues d'un même anneau, ou plutôt d'un anneau du même ordre, étaient différentes dans les différentes couleurs. Ainsi le diamètre extérieur du cinquième anneau, par exemple, lorsqu'il était formé par les premiers degrés du rouge extrême, était plus grand que celui du même anneau formé par les rayons qui composent le milieu du rouge; et ce dernier était plus grand que lorsque l'anneau était formé par les premiers rayons de l'orangé, et ainsi de suite dans l'ordre de réfrangibilité des couleurs, jusqu'au violet qui formait les plus petits anneaux. La largeur des anneaux à leur périmètre, c'est-à-dire, l'étendue occupée par tous les dégrés de leur lumière, différait parcillement selon les diverses couleurs; elle était

plus grande dans les premiers rayons rouges, moindre dans ceux du milieu du rouge, moindre encore dans l'orangé, et ainsi de suite jusqu'au violet, où elle était la moindre de toutes.

9.° Les anneaux simples, formés par chaque couleur, étaient les plus petits possibles, quand les rayons traversaient perpendiculairement la lame de l'air; et ils s'agrandissaient à mesure que l'incidence devenait plus oblique.

Les observations précédentes nous expliquent complètement le phénomène composé que présentent les anneaux formés par la lumière naturelle; car cette lumière n'étant qu'un mélange de rayons de couleurs diverses dans des proportions déterminées, lorsqu'un faisceau d'un pareil mélange vient à tomber sur la lame mince d'air interposée entre les verres, chaque rayon simple doit former ses anneaux à part, suivant les lois qui lui sont propres; et, comme la grandeur absolue des ces anneaux est différente pour les rayons de diverses couleurs, il doit en résulter entre eux une séparation qui permette de les distinguer. Toutefois cette séparation ne sera pas si nette que dans les observations faites avec des rayons simples, parce que les anneaux de diverses couleurs doivent se recouvrir en partie, et empiéter les uns sur les autres de quantités inégales, dans leurs différentes successions, de manière à produire cette infinité de teintes diverses que l'expérience nous y fait apercevoir. Mais, quoique cette superposition successive des anneaux simples, soit en effet la clef des phénomènes, on ne peut être bien assuré de cette vérité, qu'après avoir mesuré avec exactitude la grandeur absolue des diamètres et des largeurs des anneaux formés par les différens rayons; car, ces résultats une fois connus, ce devra être un simple problème d'arithmétique que de trouver l'espèce et la quantité de chaque couleur simple qui peut être réfléchie ou transmise à chaque épaisseur déterminée; et par conséquent, si l'on calcule les effets de la composition de toutes ces couleurs par les règles que *Newton* a données dans son Optique, on en déduira, avec la dernière rigueur, les expressions numériques des intensités et des teintes qui doivent exister dans chacun des points des anneaux composés, conséquences qu'il sera ensuite facile de comparer à l'expérience. En un mot, nous voici parvenus à entrevoir, à reconnaître même une cause possible des phénomènes que nous examinons : il faut maintenant

des mesures précises pour en constater la réalité, et convertir nos aperçus en certitude.

C'est aussi ce que fit *Newton*: il mesura les diamètres des anneaux simples *de même ordre*, dans la partie intérieure et dans la partie extérieure de leur périmètre, en les considérant successivement aux limites des diverses couleurs du spectre, à commencer par le violet extrême: ensuite, selon sa méthode constante, il prit soin de lier ces résultats par une loi mathématique qui les représentât avec une suffisante exactitude; puis, comparant les carrés des diamètres, il en déduisit les proportions d'épaisseur que devait avoir la lame d'air au commencement et à la fin des anneaux observés. Des mesures pareilles effectuées sur les différens ordres d'anneaux formés par une même couleur simple, lui firent connaître que les intervalles d'épaisseur où s'opérait la réflexion, égalaient sensiblement ceux où s'opérait la transmission, du moins sous l'incidence perpendiculaire. Ainsi, en désignant généralement par e_1 l'épaisseur de l'air au commencement du premier anneau lucide formé par une lumière simple quelconque, cet anneau finissait à l'épaisseur $3e_1$, et occupait ainsi un intervalle d'épaisseur égale à $2e_1$. Après cela venait le premier anneau obscur occupant aussi le même intervalle d'épaisseur $2e_1$; puis, à sa suite, le second anneau lucide commençant à l'épaisseur $5e_1$, finissant à l'épaisseur $7e_1$, et ainsi du reste. En combinant cette loi de succession pour les différens ordres, avec celle de la distribution des diverses teintes dans un même ordre, on conçoit qu'une seule épaisseur absolue, mesurée au commencement, au milieu, ou à la fin d'un anneau quelconque formé par une certaine couleur simple, suffit pour qu'on puisse calculer la valeur de la première épaisseur e_1, relativement à cette couleur, ainsi qu'à toutes les autres, et pour en déduire ensuite les épaisseurs limites $3e_1$, $5e_1$, $7e_1$....., relatives à tous les ordres quelconques d'anneaux.

C'est aussi ce qu'a fait *Newton*, et, en mesurant les épaisseurs $2e_1$, pour les différens rayons simples, dans le vide, l'air, l'eau et le verre ordinaire, il leur trouva les valeurs suivantes qui sont exprimées en dix millionièmes de pouce anglais.

Mesures de l'épaisseur $2e_1$, pour les diverses molécules lumineuses	dans le vide.	dans l'air	dans l'eau.	dans le verre.
Violet extrême...........	3,99816	3,99698	2,99773	2,57870
Limite du violet et de l'indigo	4,32436	4,32308	3,24231	2,78908
—— de l'indigo et du bleu.	4,51475	4,51342	3,38507	2,91188
—— du bleu et du vert....	4,84284	4,84142	3,63107	3,12350
—— du vert et du jaune...	5,23886	5,23732	3,92799	3,37891
—— du jaune et de l'orangé.	5,61963	5,61798	4,21349	3,62450
—— de l'orangé et du rouge	5,86586	5,86414	4,39811	3,78331
Rouge extrême...........	6,34628	6,34441	4,75831	4,09317

Dans cette table, les valeurs relatives à l'air ont été immédiatement conclues de l'observation; ensuite on a obtenu les nombres des autres colonnes en divisant les premiers résultats par le rapport de réfraction, c'est-à-dire, en les multipliant par $\frac{3389}{3388}$ pour le vide, par $\frac{3}{4}$ pour l'eau et par $\frac{20}{31}$ pour le verre. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que ces valeurs sont particulières à l'incidence perpendiculaire.

En appliquant à ces résultats une règle qu'il avait trouvée pour déterminer la nature de la couleur composée, qui résulte d'un mélange donné de couleurs simples, *Newton* en a déduit la table suivante qui indique l'épaisseur où paraissent les teintes les plus franches de chaque anneau, vu sous l'incidence perpendiculaire. Cette table a été seulement calculée pour l'air, l'eau, le verre ordinaire; mais on peut l'étendre à toutes les autres substances, en changeant les épaisseurs, réciproquement aux rapports de réfraction. L'unité de cette table, est le millionième de pouce anglais; je n'ai point voulu la transformer en mesures françaises, afin de laisser à chaque nombre toute son exactitude; et d'ailleurs la proportion des épaisseurs, qui est donnée immédiatement par les nombres de chaque colonne, est presque toujours la seule chose dont on ait besoin dans les applications. J'ai seulement joint à côté de chaque couleur, l'indication d'une fleur ou d'une substance métalique qui en approche assez, pour en donner une idée distincte.

COULEURS RÉFLÉCHIES.		ÉPAISSEURS DES LAMES, en millionèmes de pouces anglais. d'air.	d'eau.	de verre.	DÉSIGNATION DES COULEURS.
	Très-noir	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$	
	Noir	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$	
	Commencement du noir	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$	
1.er ORDRE.	Bleu	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$	Bleu de ciel blanchâtre.
	Blanc	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$	L'argent décapé dans l'acide sulfurique.
	Jaune	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$	La paille.
	Orangé	8	6	$5\frac{1}{6}$	Écorce d'orange séchée.
	Rouge	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$	Geranium sanguineum.
	Violet	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$	L'iode.
	Indigo	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$	Indigo.
	Bleu	14	$10\frac{1}{2}$	9	Bleu de cobalt.
2.e ORDRE.	Vert	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$	Vert d'eau. Aigue-marine
	Jaune	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$	Citron.
	Orangé	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$	Orange.
	Rouge éclatant	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$	Œillets de mai très-vifs.
	Rouge ponceau	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$	Rouge du sang.
	Pourpre	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$	Fleur du lin.
	Indigo	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$	Indigo.
	Bleu	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$	Bleu de Prusse.
3.e ORDRE.	Vert	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$	Vert de pré vif.
	Jaune	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$	Jaune blanchâtre couleur du bois blanc.
	Rouge	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$	Rouge des roses.
	Rouge bleuâtre	32	24	$20\frac{2}{3}$	Rouge plus pourpre.
	Vert bleuâtre	34	$25\frac{1}{2}$	22	
4.e ORDRE.	Vert	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$	Vert d'émeraude.
	Vert Jaunâtre	36	27	$23\frac{2}{9}$	
	Rouge	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26	Rose pâle.
5.e ORDRE.	Bleu verdâtre	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$	Vert d'eau.
	Rouge	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34	Rose pâle.
6.e ORDRE.	Bleu verdâtre	$58\frac{3}{4}$	44	38	Vert d'eau léger.
	Rouge	65	$48\frac{3}{4}$	42	Rose plus pâle.
7.e ORDRE.	Bleu verdâtre	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$	Teinte très-pâle.
	Blanc rougeâtre	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$	Teinte très-pâle.

Réduction des phénomènes des anneaux en une propriété physique de la lumière, appelée accès de facile réflexion et de facile transmission.

Les phénomènes des anneaux étant réduits à des lois extrêmement exactes et calculables, *Newton* les a concentrées toutes en une expression plus simple encore, en les faisant dépendre d'une propriété physique qu'il a attribuée à la lumière, et dont il a défini toutes les particularités conformément à leurs lois.

Considérant la lumière comme une matière composée de petites particules lancées par les corps lumineux et mues avec une très-grand vitesse, il a conclu que, puisqu'elle se réfléchissait dans une même lame, aux épaisseurs périodiques e_1, $3e_1$, $5e_1$, $7e_1$, etc., et qu'elle se transmettait au contraire aux épaisseurs intermédiaires o, $2e_1$, $4e_1$, $6e_1$, il fallait que ses particules possédassent en elles-mêmes une modification quelconque, mais également périodique, qui les disposât alternativement à se réfléchir à cette première succession d'épaisseurs et à se transmettre aux autres. Cette modification ne devait cependant pas être une nécessité, puisque l'intensité de la réflexion, à la seconde surface des corps, varie avec la nature du milieu contigu à cette surface; de sorte que la même molécule qui y parvient, toujours dans une même période, peut y être réfléchie ou transmise selon les circonstances extérieures qui agissent sur elle. *Newton* a donc caractérisé cette propriété des molécules lumineuses, comme une simple tendance, et il l'a très-convenablement appelée *accès de facile transmission, accès de facile réflexion.*

D'après cette idée des accès, leur longueur doit être évidemment égale à l'épaisseur $2e_1$ qui règle, dans chaque substance, les alternatives suivant lesquelles la réflexion et la transmission se succèdent. Ainsi le tableau rapporté (pag. 406), en donnera la mesure pour le vide, l'air, l'eau et le verre, et pour l'incidence perpendiculaire. Dans d'autres substances, la longueur des accès variera comme l'épaisseur e_1 elle-même, c'est-à-dire, réciproquement au rapport de réfraction; elle variera encore, et par la même raison, avec l'obliquité et avec la nature de la lumière incidente, parce que ces circonstances font varier les épaisseurs auxquelles une même couleur se réfléchit; mais les lois de ces variations ne sont précisément que celles que suivent les anneaux eux-mêmes; ainsi ces dernières étant connues, il ne reste qu'à les leur appliquer, c'est ce qu'a fait *Newton*;

et après avoir ainsi défini complètement tous les caractères des accès, il les a employés comme une propriété simple, non-seulement pour réunir sous un même point de vue les phénomènes de couleurs, produits par les lames minces, mais encore pour prévoir et calculer d'avance, dans leur marche générale, comme dans leurs plus petits détails, une foule de phénomènes analogues qui s'observent par réflexion dans des lames épaisses, lesquelles, en effet, dans ses expériences, étaient jusqu'à vingt et trente mille fois plus épaisses que les lames minces sur lesquelles les longueurs et les caractères des accès étaient calqués; enfin, en appliquant les mêmes considérations aux parties intégrantes des corps, que tous les phénomènes chimiques et physiques indiquent être très-petites, et séparées les unes des autres, même dans les corps les plus solides, par des espaces immenses comparativement à leurs dimensions absolues, il a pu naturellement déduire des mêmes principes, la théorie des couleurs diverses qu'ils nous présentent, théorie qui se lie avec une facilité surprenante à toutes les observations auxquelles ces couleurs peuvent être soumises. Le nombre et l'importance de ces applications, expliquent assez le soin que *Newton* avait donné à ses expériences sur les anneaux; je regrette d'être obligé de me borner ici à la simple indication de ces belles découvertes.

Autre explication des Anneaux colorés dans le système des ondulations lumineuses. Principes des interférences du docteur Young.

Si la lumière est réellement une matière émise, les accès sont une propriété nécessaire, parce qu'ils ne sont qu'un énoncé littéral des alternatives de réflexion et de transmission que les anneaux colorés présentent; mais, en considérant autrement la lumière, ces alternatives peuvent se représenter différemment.

Descartes, et après lui *Huyghens* et un grand nombre de physiciens, ont supposé que la sensation de la lumière était produite en nous par des ondulations excitées dans un milieu très-élastique, et propagées jusqu'à notre œil qu'elles affectent, comme les ondulations excitées dans l'air, et propagées jusqu'à notre oreille, produisent dans celle-ci la sensation des sons. Ce milieu, s'il existe, doit remplir tous les espaces célestes, puisque c'est à travers ces espaces que la lumière des astres parvient à nos yeux; il doit être aussi très-élas-

tique, puisque la transmission de la lumière s'opère avec une si grande vitesse; et, en même-temps, il doit avoir une densité infiniment petite, puisque la discussion la plus exacte des observations astronomiques anciennes et modernes, n'indique dans les mouvemens planétaires, aucune trace sensible de résistance. Quant aux rapports de ce milieu avec les corps terrestres, on voit qu'il doit les pénétrer tous, puisque tous transmettent la lumière quand ils sont suffisamment amincis; et, de plus, ses densités doivent y être différentes, selon la nature des substances, puisque les réfractions inégales qu'elles exercent sur les mêmes rayons, prouvent que la propagation de ces rayons s'y opère avec d'inégales vitesses. Mais quelles doivent être les proportions de ces densités pour les diverses substances? comment l'éther lumineux est-il amené et retenu dans chacune d'elles à cet état ? comment y est-il renfermé et contenu de manière à ne pas pouvoir se répandre au-dehors; en outre, comment ce milieu si peu résistant, si rare, si intangible, est-il ébranlé par les molécules des corps qui nous paraissent lumineux? Ce sont autant de caractères qu'il serait nécessaire de bien connaître, ou, au moins, de bien définir, pour avoir une idée exacte des conditions suivant lesquelles les ondulations se forment et se propagent; mais on ne les a pas jusqu'à présent distinctement établis.

Quoi qu'il en soit, si l'on conçoit un corps qui ait la faculté d'exciter un ébranlement instantané dans un point d'un tel milieu supposé d'abord également dense dans toute son étendue, cet ébranlement s'y propagera sphériquement, suivant les mêmes lois que dans l'air, à la vitesse près, qui devra y être beaucoup plus rapide : chaque molécule du milieu ébranlé, sera donc aussi ébranlée à son tour et rentrera après dans le repos.

Si ces ébranlemens se répètent dans le même point, il en résultera, comme dans l'air, une suite d'ondes analogues aux ondes sonores; et, de même que dans celles-ci on observe des alternatives de condensation et de raréfaction périodiques, correspondantes aux alternatives de direction qui constituent les vibrations du corps sonore, de même on doit concevoir que les vibrations successives et périodiques des corps lumineux, pourront produire dans les ondes lumineuses, des accidens pareils : enfin, de même que la succession des ondes sonores, lorsqu'elle est suffisamment rapide, produit sur notre

oreille la sensation d'un son continu dont la qualité dépend de la rapidité des vibrations opposées, et des lois de condensation et de vitesse que la nature de ces vibrations excite dans chaque onde sonore; de même, sous des conditions analogues, les ondes éthérées pourront produire des sensations de lumière dans notre œil, et des sensations diverses en conséquence de la diversité des conditions: de là les différences de couleurs. Dans ce système, les longueurs des ondes lumineuses correspondent aux accès de *Newton*, et leur longueur est, comme on le verra par la suite, précisément quadruple; leur vitesse de propagation dépend, comme dans l'air, du rapport de la force élastique du fluide à sa densité.

Lorsqu'une onde sonore excitée dans l'air, arrive sur la surface d'un corps solide, son choc produit dans les parties de ce corps un mouvement à la vérité insensible, mais pourtant réel, qui la renvoie en arrière. Si le corps, au lieu d'être solide, est un gaz, la réflexion a lieu de même; mais il se produit dans le gaz réflecteur une ondulation sensible, dépendante de l'impression que sa surface a reçue (1). Les ondulations lumineuses doivent donc produire un effet pareil, quand le milieu où elles se meuvent, se trouve terminé par un corps dans lequel la densité du fluide éthéré est différente; c'est-à-dire qu'il devra se produire une onde réfléchie et une onde transmise; voilà la réflexion et la réfraction. Dans ce système, les intensités des rayons doivent être mesurées par la force vive du fluide en mouvement, c'est-à-dire, par le produit de la densité du fluide et du carré de la vitesse propre de ses particules.

Pour constater ces analogies déjà bien remarquables, il faudrait en suivre plus loin les conséquences par le calcul; c'est malheureusement ce que l'on ne sait pas faire avec rigueur. Le calcul des

---

(1) Ce phénomène s'observe dans les sons produits avec des tuyaux d'orgues, où l'on a fait entrer successivement des couches de gaz d'inégales densités, par exemple, d'air atmosphérique et de gaz hydrogène. Les sons que peut rendre un pareil système, ont été calculés par M. *Poisson*, et ils se sont trouvés parfaitement conformes avec ce que m'ont donné des expériences directes. Or, c'est cette même théorie qui indique le mode suivant lequel les ébranlemens excités dans un fluide, se communiquent et se partagent, quand ils arrivent à un autre fluide contigu au premier.

ondulations ainsi renvoyées ou transmises dans les mouvemens obliques, excède les forces de l'analyse actuelle. Sous l'incidence perpendiculaire, le phénomène devient accessible, mais alors il n'apprend plus rien sur la direction générale du mouvement communiqué, puisque la propagation doit se continuer en ligne droite par la seule raison de symétrie; néanmoins pour ce cas, la théorie indique les proportions d'intensité des ondes réfléchies aux ondes incidentes, lesquelles paraissent en effet assez conformes aux proportions des intensités de lumière, ce qui est déjà une vérification.

Lorsque l'oreille entend à la fois deux sons réguliers et soutenus, elle distingue, outre les deux sons, les époques auxquelles les ondulations de même nature arrivent ensemble ou séparées. Si les périodes de ces retours sont très-rapides, on entend ainsi un troisième son dont le ton peut être d'avance calculé, d'après les époques des coïncidences; mais si les retours de celles-ci sont plus rares, assez rares pour que l'oreille les distingue isolément, on entend une suite de battemens qui se succèdent avec une plus ou moins grande rapidité. Le mélange de deux rayons qui arrivent ensemble à l'œil dans des circonstances convenablement choisies, produit un effet du même genre, que *Grimaldi* avait déjà remarqué, mais dont le docteur *Young* a le premier montré les applications nombreuses. La manière la plus nette de produire ce phénomène, est la suivante que M. *Fresnel* a imaginée.

On introduit dans une chambre obscure un rayon solaire réfléchi dans une direction fixe, par le miroir d'un héliostat (pag. 362, Add.); on transmet ce rayon à travers une loupe d'une distance focale très-courte, qui le fait converger à son foyer, presque en un seul point mathématique : de là, les rayons dont le faisceau se compose, divergeant dans tous les sens, forment un cône qui s'élargit à mesure qu'on s'éloigne. Dans ce cône, à une distance de deux ou trois mètres, on dispose deux miroirs métalliques, inclinés l'un à l'autre d'un très-petit angle, de manière qu'ils reçoivent les rayons sous des incidences presque pareilles; et, plaçant l'œil à une certaine distance, on regarde à la fois sur l'un et l'autre miroir, l'image du point lumineux : on en voit ainsi deux images séparées par un intervalle angulaire qui dépend de l'inclinaison des deux miroirs, de leurs distances au point lumineux et de l'éloignement où l'observa-

teur est placé; mais, en outre, ce qui est la circonstance essentielle du phénomène, si l'on arme l'œil d'une loupe d'un court foyer, on aperçoit, entre les lieux des deux images, une série de bandes lumineuses, parallèles entre elles, colorées de teintes diverses, et dont la direction est perpendiculaire à la ligne qui joint les deux images : si la lumière incidente est simple, les bandes sont de la couleur de cette lumière, et séparées par des intervalles obscurs ; leur direction ne dépend que de la direction des plans des miroirs; et non pas d'aucune influence produite par les bords physiques qui les terminent, car on peut tourner chacun des miroirs sur lui-même, ce qui change la position de ses bords, sans changer la commune section des deux plans, et les bandes n'éprouvent aucune altération.

Arrêtons-nous, pour plus de simplicité, au cas où la lumière incidente est homogène : ce cas se réalise avec facilité, en regardant les bandes à travers un verre coloré qui ne laisse passer qu'une seule espèce de teinte. Alors, si l'on considère une quelconque des bandes brillantes formées entre les deux images, on peut calculer la direction et la route des rayons lumineux qui forment cette bande et qui viennent tant de l'un que de l'autre miroir. Or, en faisant ce calcul, on trouve les résultats suivans : 1.° le milieu de l'espace compris entre les deux points lumineux, est occupé par une bande brillante formée par des rayons dont les routes, depuis le point lumineux jusqu'à l'œil, sont d'égales longueurs, de sorte que la différence de ces routes, est égale à zéro. 2.° La première bande brillante, à droite et à gauche de celle-là, est formée par des rayons dont la différence de route est constante, et égale, par exemple à l. 3.° La seconde bande brillante est formée par des rayons pour lesquels la différence des routes est $2l$. 4.° En général, pour chaque bande brillante, la différence des routes est un des termes de la série 0, l, $2l$, $3l$, $4l$... etc. — 5.° Les bandes obscures intermédiaires entre les précédentes, sont formées par des rayons dont les différences de routes, sont $\frac{1}{2}l$, $\frac{3}{2}l$, $\frac{5}{2}l$... etc. — 6.° Enfin, la valeur numérique de l est exactement quadruple de la longueur que *Newton* attribue aux accès pour l'espèce de lumière que l'on a considérée.

L'analogie de ces lois avec celle des anneaux est évidente. Voici

maintenant l'explication que l'on donne dans le système des ondulations : l'intervalle l est précisément égal à la longueur d'une onde lumineuse, c'est-à-dire, à la distance des points de l'éther qui, dans la succession des ondes, se trouvent avoir au même instant, des mouvemens et des états pareils. Lorsque les routes des deux rayons qui interfèrent, diffèrent précisément de la moitié de cette quantité à l'endroit où ils se croisent, ils y apportent des mouvemens et des états contraires, dont les phases sont absolument pareilles; de plus, les mouvemens produits par ces ondulations partielles, s'opèrent presque suivant la même direction, à cause du peu d'inclinaison que les deux rayons ont l'un sur l'autre : conséquemment les mouvemens qu'elles tendent à produire se soustraient l'un de l'autre; et puisqu'ils sont exactement égaux, ils s'entre-détruisent, de sorte que le point de l'éther où ce phénomène arrive, n'est point de tout ébranlé, il ne s'y produit donc aucune sensation de lumière. Le même résultat doit avoir lieu dans tous les points de l'espace où la différence des routes des rayons qui interfèrent, est $\frac{3}{2}l$, $\frac{5}{2}l$, $\frac{7}{2}l$... etc., parce qu'ils y arrivent également dans des états exactement opposés; au contraire, pour les bandes brillantes où la différence des routes, est l, $2l$, $3l$, $4l$... etc., les rayons qui les composent, arrivent dans des phases de mouvemens et d'état exactement pareilles : ainsi les agitations partielles qu'elles excitent, s'ajoutent, et le phénomène de lumière s'y produit. Cette considération de la combinaison des ondes lumineuses et des alternatives d'ombres et de lumière qui en résulte, a été appelée par M. *Young*, le *principe des interférences*.

Le phénomène des alternatives d'ombres et de lumière, est *certain ;* s'il était *possible, seulement* dans le système des ondulations lumineuses, il transformerait ce système en réalité et exclurait le système de l'émission. Mais il ne me semble point offrir ce caractère de nécessité qui serait si utile dans quelque sens qu'il pût être, parce qu'il serait décisif. On peut, sans violer aucune règle de la logique, concevoir également le principe des interférences dans le sytème de l'émission, en faisant du résultat qu'il exprime une condition de la visibilité.

En effet, le phénomène des bandes ne nous prouve pas que les rayons lumineux s'influencent physiquement les uns les autres dans

certaines circonstances; il nous apprend seulement que l'œil a, ou n'a pas la sensation de lumière, lorsqu'il se place au point où les rayons coïncident avec les circonstances; et il nous prouve aussi qu'une surface matte qu'on y a placée, étant regardée de loin, paraît brillante ou obscure; or, pour le premier cas, il est possible que la vision cesse quand la rétine reçoit simultanément des rayons qui sont dans des phases opposées de leurs accès; et, pour le second, lorsque de pareils rayons arrivent ensemble à une surface matte, et sont ensuite disséminés par rayonnement dans tous les sens, il est clair qu'ayant les mêmes routes à parcourir depuis chaque point de cette surface jusqu'à l'œil, ils conserveront en arrivant à la rétine, la même relation de phases qu'ils avaient en arrivant à la surface réfléchissante; si donc ils étaient alors dans un état opposé d'accès, leur opposition sera la même en arrivant à la rétine, et ainsi la vision ne s'y produira pas. Je ne prétends point que cette explication soit réelle, ou nécessaire en elle-même; elle est l'une et l'autre, si la lumière est une matière, puisqu'elle n'est que la traduction du phénomène : mais il suffit qu'elle n'implique aucune contradiction physique, pour que le phénomène dont elle dérive, ne soit pas décisif contre le système de l'émission.

Le docteur *Young* a également appliqué le principe des interférences à l'explication des anneaux colorés, soit réfléchis, soit transmis par les lames minces. Lorsqu'on regarde par réflexion une pareille lame, la lumière qui se réfléchit à sa première surface, interfère dans l'œil avec la lumière qui se réfléchit de la seconde; cette interférence produit donc, ou ne produit par la sensation de lumière, suivant que la différence des routes parcourues par les deux rayons, les met dans des phases d'ondulations semblables ou opposées; mais alors, au point où l'épaisseur de la lame mince, est nulle, la différence des routes est nulle aussi; par conséquent il devrait s'y produire une tache brillante, au lieu que c'est réellement une tache noire qui s'y forme. C'est pourquoi le docteur *Young* introduit, dans ce cas, un nouveau principe; c'est que la réflexion dans la lame mince, fait perdre aux rayons un intervalle $\frac{1}{2}l$, précisément égal à la moitié de la longueur d'une onde. Au moyen de cette modification, les deux rayons réfléchis aux deux surfaces de la lame mince, dans le point où l'épaisseur est nulle, acquièrent des

dispositions opposées et par conséquent ne produisent point la sensation de lumière en arrivant à l'œil ensemble; après quoi, pour les autres épaisseurs environnantes, la loi de périodicité des ondulations, donne la périodicité des anneaux brillans et des anneaux obscurs : cette loi ainsi modifiée, satisfait aux mesures des anneaux colorés observés sous l'incidence perpendiculaire; mais, pour les incidences obliques, elle ne s'accorde pas tout-à-fait avec les lois trouvées par *Newton* : la différence est dans les incidences les plus obliques. Les lois que *Newton* a établies par l'expérience, seraient-elles alors inexactes, ou faut-il introduire dans les ondes obliques quelque modification dépendante de leur rencontre avec les surfaces? ce point reste encore à décider.

Nous n'avons considéré que les anneaux qui s'observent par réflexion; ceux qui s'observent par transmission sont formés, dans la doctrine des ondes, par l'interférence des rayons dont la transmission est directe, avec les rayons qui, réfléchis d'abord une première fois à la seconde surface de la lame mince, sont encore réfléchis par la première lorsqu'ils y reviennent, et sont ainsi renvoyés vers l'œil, où il arrivent sans autre modification. Dans ce cas, le point de la lame mince où l'épaisseur est nulle, donne une tache blanche conformément à l'expérience, et ainsi il n'y a pas de constante à ajouter comme dans les anneaux réfléchis; mais la soustraction ou l'addition d'une constante, est nécessaire dans beaucoup d'autres cas.

Selon ce système, les épaisseurs auxquelles les anneaux se forment, indiquent la longueur des ondulations dans chaque substance. Or, pour un même mode de vibration du corps lumineux, la longueur des ondes doit être égale au chemin que la lumière parcourt pendant que cette vibration s'achève; puis donc qu'on trouve les ondes plus courtes dans les substances les plus réfringentes, il faut que la vitesse de transmission y soit moindre suivant la même loi; c'est-à-dire, qu'elle soit réciproque à leur rapport de réfraction.

En considérant les alternatives d'ombre et de lumière, comme produites par des superpositions d'ondes lumineuses de même ou de différente nature, on donne à ce phénomène un sens physique, et c'est ainsi que M. *Young* a d'abord présenté le principe des interférences; mais on peut le détacher, comme il l'a fait lui-même,

de toute considération étrangère, et le présenter comme une loi expérimentale; alors il s'exprime par l'énoncé suivant :

1.° *Lorsque deux portions égales de lumière, dans des circonstances exactement semblables, ont été séparées et coïncident de nouveau à-peu-près dans une même direction, elles s'ajouteront l'une à l'autre ou se détruiront mutuellement, selon que la différence des temps employés dans leurs trajets séparés, sera un multiple pair ou impair d'un certain demi-intervalle qui est différent pour les différentes couleurs, mais constant pour chaque espèce de lumière simple.*

2.° *Dans l'application de cette loi à différens milieux, les vitesses de la lumière doivent être supposées réciproques aux rapports de réfraction des milieux, de manière que les rayons se meuvent plus lentement dans les substances plus denses, et plus vite dans les plus rares, selon ces rapports.*

3.° *Dans les réflexions sur la surface d'un milieu plus rare, sur quelques métaux et dans plusieurs autres circonstances, il se perd un demi-intervalle.*

4.° Enfin, on peut ajouter que *les longueurs de ces intervalles, sont toujours quadruples des accès assignés par* Newton *aux mêmes couleurs.*

Pour donner un exemple de ces lois, supposons que lorsque deux rayons simples homogènes interfèrent et forment des bandes dans l'expérience des deux miroirs, on interpose sur le chemin d'un de ces rayons, une lame de verre très-mince que lui seul traverse. D'après la seconde condition, sa marche dans la lame de verre, sera moins rapide que dans l'air, proportionnellement au rapport de réfraction : ainsi, lorsqu'après être sorti de la lame et avoir continué sa route, il rencontrera le rayon avec lequel il interférait, ses rapports d'intervalle avec lui, seront différens; et, pour retrouver les mêmes intervalles, il faudra considérer un autre rayon, tellement dirigé, que son retardement dans la lame de verre soit compensé par le raccourcissement du trajet que sa nouvelle direction lui donne; conséquemment les bandes colorées qui étaient formées d'abord, avant l'interposition de la lame de verre, se déplaceront, et se déplaceront d'une quantité qui peut se calculer d'après l'épaisseur de la lame et son rapport de réfraction; c'est en effet ce que l'observation

confirme avec une incroyable justesse, comme l'a observé M. *Arago* auquel cette ingénieuse expérience est dûe.

D'après cela, si l'on observe le déplacement des bandes ainsi produit par une lame donnée, ce qui peut se faire avec une précision extrême, on pourra évidemment en conclure le rapport de réfraction pour cette lame; on pourra encore comparer les réfractions des diverses substances les unes aux autres, en interposant des lames égales ou inégales de chacune d'elles, dans la direction des deux rayons qui interfèrent. M. *Arago* et M. *Fresnel* ont essayé cette méthode; elle s'est trouvée si exacte, qu'elle leur a permis de mesurer des différences de réfraction qu'aucun autre moyen n'avait pu donner.

De la diffraction de la lumière.

Lorsqu'un rayon de lumière est introduit dans une chambre obscure, si l'on place sur sa direction, le bord de quelque corps opaque, et que l'on reçoive ensuite sur un tableau blanc, situé à une certaine distance, la portion du rayon qui continue de se transmettre, on voit le bord de l'ombre du corps bordé d'une ligne brillante; et, en augmentant la distance, on voit ainsi se former plusieurs alternatives de bandes colorées : ce phénomène constitue ce que l'on appelle *la diffraction de la lumière*. Pour lui donner toute la netteté possible, il faut adopter la même disposition que dans l'expérience des deux miroirs, c'est-à-dire, employer un rayon solaire réfléchi par un héliostat, et concentré par une loupe, en un point rayonnant presque mathématique : alors on place les corps opaques dans le cône divergent formé par ce rayon. Pour fixer les idées, supposons que le corps soit une lame opaque à bords rectilignes, et de deux ou trois millimètres de diamètre; alors si l'on reçoit les rayons sur un verre dépoli placé à quelque distance et que l'on place l'œil au-delà de ce verre, on observe des deux côtés de la lame, ou plutôt de son ombre, une suite nombreuse de bandes brillantes parallèles entre elles et à ses bords, lesquelles sont séparées les unes des autres par des intervalles obscurs; les intensités de ces bandes vont en diminuant à mesure qu'elles s'éloignent de l'ombre; l'ombre même n'est pas tout-à-fait noire, mais formée aussi de bandes lumineuses et obscures parallèles entre elles et aux bords de la lame : bien plus, il n'est pas nécessaire pour voir ces

bandes, de les recevoir sur un verre dépoli; elles se forment dans l'espace, et on peut les y apercevoir, soit avec l'œil nu, soit avec une loupe, en la plaçant exactement sur leur direction. Si donc on fixe une loupe sur un pied solide et qui puisse se mouvoir horizontalement, au moyen d'une vis, le long d'une échelle divisée en parties égales, on pourra amener successivement son axe devant chaque bande brillante ou obscure; on pourra fixer précisément la position de cette bande, en la rapportant à un fil très-fin tendu devant la loupe, et mesurer ainsi sur l'échelle divisée, les intervalles des bandes par le chemin que fait la loupe pour aller se placer sur chacune d'elles; cette disposition avantageuse a été imaginée par M. *Fresnel*, qui s'en est servi pour mesurer toutes les particularités du phénomène avec une extrême précision.

Or, ces particularités peuvent se représenter avec une très-grande approximation, comme M. *Young* l'a annoncé le premier, en supposant que la lumière qui tombe sur les bords de la lame opaque, rejaillit en rayonnant de toutes parts, à partir de ces bords, et interfère soit avec elle-même, soit avec la lumière qui a continué d'être transmise directement.

Le premier genre d'interférence forme les bandes intérieures; la lumière rayonnée par un des bords de la lame, interférant avec la lumière rayonnée par l'autre, ces deux lumières sont précisément dans le même cas que les deux points lumineux réfléchis dans l'expérience des miroirs: ainsi la disposition des bandes intérieures, soit lumineuses, soit obscures, ainsi que les rapports de leurs intervalles, sont absolument pareils. Si l'on fixe par la pensée la suite des points de l'espace, où le même genre d'interférence se produit à diverses distances derrière la lame, ce qui donne le lieu successif où paraît une même bande, on trouve que ces points sont sensiblement en ligne droite; et leurs intervalles mesurés sont très-exactement conformes à ce que le calcul des interférences indique.

Quant aux bandes extérieures, on peut les considérer comme formées par l'interférence de la lumière directement transmise, avec la lumière rayonnée par chaque bord; mais il faut ici, comme dans les anneaux réfléchis, supposer une perte d'un intervalle $\frac{1}{2}l$. On trouve ainsi que les positions inconnues où doit paraître chaque bande pour des distances diverses, ne sont pas placées sur une

même ligne droite, mais sur des hyperboles du second degré : ce que l'expérience confirme parfaitement. Il ne faut pas conclure de là, que, dans la diffraction, le mouvement de la lumière n'est plus rectiligne ; car ce n'est pas le même rayon de lumière qui forme la bande de même ordre à des distances diverses, et les rayons seuls sont assujétis au mouvement rectiligne. Le changement de rayon, à mesure que l'on s'éloigne, peut même se conclure de cela seul, que l'on peut regarder les bandes dans l'espace, soit à l'œil nu, soit avec une loupe ; car alors, il faut bien que les rayons qui les forment, convergent et se séparent ensuite, pour que la loupe puisse les recevoir et donner une image sensible de leur point de concours.

Il se produit encore des phénomènes de diffraction très-remarquables, quand le cône de lumière, au lieu d'être intercepté par une bande opaque, est transmis entre les bords parallèles de deux corps terminés par des biseaux rectilignes. Dans ce cas, les bandes diffractées peuvent, avec une grande approximation, être attribuées à l'interférence des deux portions de lumière qui tombent sur les bords opposés des deux biseaux.

Néanmoins, plusieurs particularités physiques du phénomène, sont difficiles à concevoir dans cette hypothèse. M. *Fresnel* a même trouvé qu'elle ne satisfait pas complètement aux mesures des bandes, lorsqu'elles sont extrêmement précises ; il a reconnu que la faible portion de la lumière que les bords des corps peuvent réfléchir, ne suffit pas pour produire les intensités des bandes observées ; et qu'il faut y faire concourir des rayons qui passent hors du contact de ces bords. Il a été ainsi conduit à considérer toutes les parties de l'onde lumineuse directe, comme autant de centres d'ébranlement distincts dont il fallait étendre les effets sphériquement à tous les points de l'espace auxquels ils se peuvent propager ; après quoi, pour chacun de ces points, l'effet définitif résultait des interférences de tous les ébranlemens partiels qui y parviennent. Ce calcul appliqué à la libre propagation d'une onde sphérique, dans un milieu homogène, donne l'affaiblissement de la lumière réciproque au carré de la distance, tel qu'on l'observe ; mais lorsqu'une partie de l'onde est interceptée, il indique dans les différens points de l'espace où elle se propage ensuite, des alternatives d'ombre et de lumière

qui, pour la disposition et l'intensité, sont minutieusement conformes à ce que les bandes diffractées présentent. Ce principe a permis à M. *Fresnel* d'embrasser tous les cas de la diffraction avec une précision extraordinaire ; mais l'exposition de ces résultats, quoique d'un grand intétêt, nous entraînerait plus loin que ne le comporte le plan de cet ouvrage.

NOTE.

« Nous avons cru devoir réunir dans cette note les expériences capitales de *Newton*, telles qu'il les décrit dans son immortel ouvrage ayant pour titre : *Optice lucis*, etc.

Ayant pris deux objectifs de télescope, l'un plan convexe, l'autre légèrement convexe des deux côtés, *Newton* posa l'une des faces de celui-ci sur la surface plane du premier ; il pressa d'abord légèrement les deux verres, et ensuite de plus en plus l'un contre l'autre : l'effet de cette pression graduée fut de faire paraître dans la lame d'air, comprise entre les deux verres, différens cercles colorés qui avaient pour centre commun le point de contact, et dont le nombre augmentait avec la pression des verres ; de manière que celui qui avait paru le dernier, environnait toujours le point de contact, et que ce même cercle, sous un nouveau dégré de pression, étendait sa circonférence, en même temps que sa surface s'évidait, pour former une espèce d'anneau autour d'un nouveau cercle qui naissait vers son milieu. La pression ayant été poussée jusqu'à un certain terme, *Newton* vit au point de contact une tache noire environnée de plusieurs séries de couleurs : l'ordre que suivaient ces couleurs en allant du centre vers les bords des deux verres, était dans la

1.re série ..... bleu, blanc, jaune et rouge.
2.e .... violet, bleu, vert, jaune et rouge.
3.e .... pourpre, bleu, vert, jaune et rouge.
4.e .... vert et rouge.
5.e .... bleu verdâtre, rouge.
6.e .... bleu verdâtre, rouge pâle.
7.e .... bleu verdâtre, blanc rougeâtre.

Au-delà de ces séries dont les teintes allaient toujours en s'affaiblissant, la couleur retombait dans le blanc. Tels étaient les phénomènes que présentaient les verres vus pas réflexion. *Newton* mesura les diamètres des bandes annulaires formées de ces différentes séries, en prenant les endroits où elles avaient le plus d'éclat, et il trouva que les carrés de ces diamètres, étaient comme les termes de la progression 1, 3, 5, 7, 9, 11 etc., d'où il résulte que les intervalles des deux verres aux endroits correspondans, suivaient la même progression. En effet,

soient (*fig.* 121) *nam* le diamètre d'un anneau pris sur la surface du verre plan ; et *agfa* une coupe de la sphère à laquelle appartient la partie de l'objectif biconvexe tourné vers *an* : soient, de plus, *ab* et *ad* les demi-diamètres de deux anneaux aux endroits où les couleurs sont les plus vives ; ayant mené *be* et *dg* parallèles au diamètre vertical *af*, puis *eh* et *gi* parallèles à *an*, on sait que

$$\overline{eh}^2 : \overline{gi}^2 = ah \times hf : ai \times if = ah \times af : ai \times af = ah : ai = be : dg,$$

en observant que les droites *ah* et *ai* étant très-petites à l'égard du diamètre *af*, on peut remplacer *hf* et *if* par *af*. D'après ces rapports, il suffit de connaître la longueur absolue d'un seul diamètre ainsi que les épaisseurs *eb*, *gd* etc., des lames d'air aux endroits où l'on voyait différentes couleurs, pour avoir les longueurs des autres diamètres. *Newton* ayant pris soin de mesurer aussi les diamètres des anneaux, aux endroits intermédiaires où les couleurs s'obscurcissaient, trouva que leurs carrés étaient dans le rapport des nombres 2, 4, 6, 8, 10, 12, etc. ce qui est aussi le rapport des intervalles entre les verres, aux endroits correspondans. Le diamètre des anneaux augmente ou diminue, suivant que le rayon visuel est plus ou moins incliné à la surface des deux verres, de sorte que la plus grande contraction des anneaux a lieu, lorsque l'œil est situé perpendiculairement au-dessus des verres : du reste les diamètres conservent entre eux les mêmes rapports. Mais lorsqu'on observe l'effet de la lumière réfractée, par exemple, si l'on regarde les nuées à travers les deux verres, de nouvelles séries de couleurs remplacent les précédentes ; la tache centrale devient blanche, et l'ordre des couleurs, relativement aux différentes séries, est dans la

1.re série . . . . . blanc, rouge jaunâtre, noir, violet, bleu.
2.e . . . . blanc, jaune, rouge, violet, bleu.
3.e . . . . vert, jaune, rouge, vert bleuâtre,
4.e . . . . rouge, vert bleuâtre.
Les 5.e et 6.me les deux mêmes couleurs.

En comparant les couleurs par réfraction avec les couleurs par réflexion, on les trouve plus faibles que celles-ci dont elles sont les complémentaires : lorsque le rayon est très-oblique, les couleurs vues par réfraction prenent assez d'éclat et de vivacité. *Newton* ayant substitué l'eau à l'air entre les deux objectifs, les couleurs s'affaiblirent, et les anneaux se contractèrent, c'est-à-dire, que celui de telle couleur déterminée, avait sa circonférence plus près du centre, que lorsque le milieu était de l'air : les diamètres de ces anneaux correspondans, étaient, à-peu-près, comme 7 : 8, et, par conséquent le rapport de leurs carrés, était de 49 : 64 : d'où il suit que les épaisseurs des fluides, aux endroits où paraissaient les anneaux, étaient environ comme 3 : 4, c'est-à-dire, dans le rapport du sinus d'incidence, à celui de réfraction, lorsque la lumière passe de l'eau dans l'air. A l'aide d'une nouvelle expérience, il parvint à dé-

mêler comment les différentes couleurs homogènes concouraient vers l'effet total, c'est-à-dire, qu'il fit en quelque sorte l'analyse du phénomène que nous venons de décrire. Voici le passage de Newton (*). *Hæ mihi observationes factæ sunt in aperta luce. Verum quo adhuc penitius hanc materiam specularer, perscrutando deinceps quinam essent effectus luminis colorati in hæcce vitra objectiva incidentis, cubiculo tenebras induxi. Et inspexi eadem vitra illuminata jam reflexu colorum prismaticorum chartæ albæ plagula exceptorum ; oculo nimirum ita collocato, ut chartam coloratam in vitris illis, tanquam in speculo, possem reflexione conspicari. Eventus autem experimenti is erat ut annuli jam multo distinctiores facti essent et longe etiam majori numero sub aspectum venirent, quam in aperta luce. Vidi aliquando hoc pacto amplius viginti, cum in aperta luce diurna, haud amplius octo aut novem discernere potuerim. Newton* tenant alors son œil immobile, il n'y avait qu'une seule couleur qui put parvenir à cet œil, à l'aide de la réflexion produite par le papier : mais ayant invité quelqu'un à faire tourner le prisme soit dans un sens, soit dans un autre, autour de son axe, il vit paraître successivement des suites diversement colorées d'anneaux concentriques, de manière que ceux qui se présentaient simultanément, étaient tous d'une même couleur. Les anneaux rouges avaient leurs diamètres sensiblement plus grands que les violets, et *Newton* dit qu'il avait un plaisir extrême à voir les anneaux passer tour-à-tour par différens dégrés de dilatation ou de contraction, à mesure que les couleurs se succédaient. Il résultait de l'ensemble des observations, que le violet était la couleur qui donnait, en général, les plus petits anneaux, et qu'ensuite les diamètres croissaient graduellement dans l'ordre où s'offraient les autres couleurs, c'est-à-dire, le bleu, le vert, le jaune et le rouge : ainsi le premier des anneaux bleus, était un peu plus éloigné du centre que le premier des violets ; le premier des anneaux verts était situé un peu au-delà du premier des anneaux bleus, etc. : il en était de même des seconds, des troisièmes etc., pris dans les mêmes séries. De plus, la même couleur qui était réfléchie à certains endroits de la lame d'air, était transmise dans les espaces intermédiaires. Les carrés des diamètres des anneaux qui provenaient de la réflexion, suivaient, ainsi que dans la première observation, les rapports des nombres impairs 1, 3, 5, etc. et les carrés des diamètres des anneaux produits par la couleur réfractée, étaient comme les nombres pairs 2, 4, 6, 8, etc. : d'où il résultait que les épaisseurs de la lame d'air aux endroits où la réflexion et à ceux où la réfraction avaient lieu, étaient respectivement soumises aux mêmes rapports : ces épaisseurs étaient mesurées aux points où la couleur, soit réfléchie soit réfractée, était la plus vive : en partant de ces points, l'intensité de la lumière se dégradait indéfiniment de part

(*) Opt. Lucis Lib. II, Pars I, Observ. 12, 13, 14, etc.

et d'autre. Pour assigner des limites à ces dégradations, *Newton* adopta l'hypothèse suivante : concevons que dans la série des nombres naturels 1, 2, 3, 4, etc., le terme 2 représente maintenant l'épaisseur de la lame d'air à l'endroit où le premier des anneaux violets vus par réflexion et relatifs à une même position du prisme, est le plus fortement coloré, et appelons-la *l'épaisseur moyenne* de l'anneau ; celle du second sera 6, puisqu'elle est à celle du premier comme 3 à 1 ; celle du troisième sera 10 ; par la même raison, l'épaisseur moyenne du premier anneau violet, vu par réfraction sera 4 ; celle du second sera 8 ; celle du troisième sera 12, etc. Quant aux épaisseurs extrêmes, ou à celles qui ont lieu aux deux extrémités de chaque anneau, il trouve que relativement au premier des anneaux violets, toujours vus par réflexion, la plus petite est 1 et la plus grande est 3, ces deux nombres étant l'un à gauche, l'autre à droite de l'épaisseur moyenne. De même les deux nombres situés l'un à gauche, et l'autre à droite d'un nombre quelconque qui est l'expression de l'épaisseur moyenne, représentent les épaisseurs extrêmes de l'anneau correspondant : de manière que chacune des ces épaisseurs sera commune à deux anneaux consécutifs, vus l'un par réflexion, l'autre par réfraction. En supposant le mouvement de rotation du prisme uniforme, les différentes couleurs arrivent les unes plutôt, les autres plus tard à leur dernier dégré de dilatation, ou au plus grand accroissement du diamètre de leurs anneaux : la plus petite dilatation était celle de la couleur violette et la plus grande celle de la couleur rouge, ce qui est le contraire de ce qu'on observe dans le spectre solaire où le rouge est la couleur la plus resserrée et le violet la plus étendue. *Newton* ayant mesuré les épaisseurs de la lame d'air, ou les épaisseurs moyennes des anneaux qui forment les limites des sept couleurs considérées dans une même série, c'est-à-dire, les épaisseurs qui répondent aux endroits où la réflexion est la plus vive, trouva qu'elles étaient telles qu'on les voit dans ce tableau :

Violet..........	6300
....	6814
Indigo.	
....	7114
Bleu.	
....	7631
Vert	
....	8255
Jaune.	
....	8855
Orangé.	
....	9243
Rouge..........	10000.

Le nombre 6300 indique l'épaisseur moyenne de l'anneau qui donne la première nuance de violet; le nombre 6814 désigne l'épaisseur qui répond à l'endroit où finit le violet et où commence l'indigo, et ainsi de suite jusqu'au nombre 1000, qui est l'épaisseur moyenne de l'anneau à l'endroit où se termine le rouge. Il est remarquable que la progression $1, \frac{8}{9}, \frac{5}{6}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{9}{16}, \frac{1}{2}$, qui revient à celle des nombres précédens, soit celle qui représente les sinus de réfraction des couleurs relatives aux mêmes limites, avec la différence que, dans ces dernières couleurs, elle va du violet au rouge. La lumière reproduit ici, sous une nouvelle forme, le type de l'échelle qui constitue notre gamme musicale dans le mode mineur.

Soit $v1xz$ (*fig.* 122) une coupe de la lame d'air, prise dans l'espace au quel répondent les couleurs de la première série; soient $v2$ l'épaisseur moyenne de l'anneau qui donne la première nuance de violet, $v1$ et $v3$ les deux épaisseurs extrêmes : soient de même V2 l'épaisseur moyenne à l'endroit où finit le violet et où commence l'indigo, et V1 et V3 les épaisseurs extrêmes; soient enfin $r2$ l'épaisseur moyenne à l'endroit où commence le rouge et où se termine l'orangé; $r1$ et $r3$ les épaisseurs extrêmes : on aura $v2 = 6300$, $V2 = 6814$; $r2 = 9243$. Donc en observant que lorsque l'épaisseur moyenne est 1, au lieu de 2, comme on l'a supposé plus haut, les épaisseurs extrêmes sont $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{2}$, on aura $v1 = \frac{6300}{2}$, $v3 = \frac{3}{2} \times 6300$, $V1 = \frac{6814}{2} = 3047$, $V3 = \frac{3}{2} \times 6814 = 10221$. De plus $r1 = \frac{9243}{2} = 4621 + \frac{1}{2}$, $r3 = \frac{3}{2} . 9643 = 13864 + \frac{1}{2}$. Donc $r1$ est plus petit que $v2$ et $r3$ plus grande que V3. Donc $r1$ étant à gauche de $v2$ et $r3$ à droite de V3, le violet et le rouge se confondent dans l'espace $v23V$. Or le violet et le rouge étant les couleurs extrêmes de la série, il est facile de concevoir que la plus petite des épaisseurs extrêmes de la première nuance d'une couleur quelconque intermédiaire, telle que le vert, étant moindre que $r1$ et plus grande que V1, sera située entre ces deux lignes; tandis que la plus grande des épaisseurs extrêmes de la dernière nuance de la même couleur, étant plus grande que V3, sera située à la droite de cette ligne : d'où l'on conclura que toutes les couleurs doivent se confondre sur l'espace $v23V$, et y produire une couleur blanche par leur mélange. Un raisonnement semblable démontrera que la même chose ne peut avoir lieu dans les autres séries, où il n'y a qu'une partie des couleurs relatives à chacune d'elles qui soient mêlées.

Un rayon sera dans un *de ses retours de facile réflexion*, lorsqu'il tombera sur une lame de quelque substance dont l'épaisseur est un des termes de la série

1, 3, 5, 7 etc., en prenant pour unité la plus petite épaisseur qui soit capable de réfléchir ce rayon ; et il sera dans *un de ses accès de facile transmission*, lorsque l'épaisseur de la lame qui le reçoit, est un des termes de la série 2, 4, 6, 8 etc. »

Le principe des interférences est jusqu'à présent le seul par lequel on ait pu expliquer les particularités de la diffraction ; et en cela ce phénomène est favorable au système ondulatoire. Toutefois, si on approfondit les détails de cette explication, on sentira qu'elle offre plutôt une représentation du phénomène, qu'elle n'en fournit une théorie mathématique rigoureuse : c'est pourquoi ce serait une belle et importante découverte que d'accorder ce phénomène avec les idées de matérialité de la lumière, qui déjà donnent des notions si nettes et des mesures si précises de tant d'autres mouvemens des rayons lumineux (*Biot, Précis de Phys.* Tom. II, pag. 472).

Sur la Double Réfraction.

« La connaissance du phénomène de la double réfraction, est due à *Erasme Bartholin*, Danois, auteur d'un Traité sur le *cristal d'Islande*, imprimé à Copenhague, en 1670 : *Huyghens* a le premier découvert la loi que suit la lumière, en se réfractant dans ce cristal ; l'hypothèse qui l'a conduit à cette découverte, l'accord parfait des principaux phénomènes de la double réfraction avec cette hypothèse, sont le sujet d'un traité sur la lumière, écrit en français et publié à la Haye en 1690. En 1809, M. *Laplace* a fait voir (1.er vol. du nouveau bulletin de la société Philomatique, pag. 303) que la loi de la réfraction découverte par *Huyghens*, était une conséquence du *principe de la moindre action*.

Voici de quelle manière *Huyghens* s'exprime sur cette propriété de la lumière : « Devant que de finir le traité de ce cristal (d'Islande), j'ajouterai encore un phénomène merveilleux que j'ai » découvert après avoir écrit tout ce que dessus. Car bien que je » n'en aie pas trouvé jusqu'ici la cause, je ne veux pas laisser pour » cela de l'indiquer, afin de donner occasion à d'autres de la chercher. Il semble qu'il faudrait faire encore d'autres suppositions, » outre celles que j'ai faites, qui ne laisseront pas pour cela de garder toute leur vraisemblance, après avoir été confirmées par tant » de preuves. »

» Le phénomène est qu'en prenant deux morceaux (1) de ce » cristal, et les appliquant l'un sur l'autre, ou bien les tenant avec » de l'espace entre deux, si tous les côtés de l'un, sont parallèles » à ceux de l'autre, alors un rayon de lumière, comme AB » (*fig.* 123), s'étant partagé en deux dans le premier morceau, savoir » en BD et en BC, suivant les deux réfractions régulière et irré- » gulière, en pénétrant de-là à l'autre morceau, chaque rayon y » passera sans plus se partager en deux; mais celui qui a été fait » de la réfraction régulière, comme ici DG, fera seulement encore » une réfraction régulière en GH; et l'autre CE, une irrégulière » en EF; et la même chose arrive non-seulement dans cette dispo- » sition, mais aussi dans toutes celles où *la section principale* de » l'un et l'autre morceau, se trouve dans un même plan, sans qu'il » soit besoin que les deux surfaces qui se regardent, soient parallèles. » Or, il est merveilleux pourquoi les rayons CE et DG venant de » l'air sur le cristal inférieur, ne se partagent pas de même que » le premier rayon AB. On dirait qu'il faut que le rayon DG, en » passant par le morceau de dessus, ait perdu ce qui est nécessaire » pour mouvoir la matière qui sert à la réfraction régulière; mais » il y a encore autre chose qui renverse ce raisonnement. C'est que » quand on dispose les deux cristaux en sorte que les plans qui » font les sections principales, se coupent à angles droits, soit que » les surfaces qui se regardent, soient parallèles ou non, alors le » rayon qui est venu de la réfraction régulière, comme DG, ne » fait plus qu'une réfraction irrégulière dans le morceau inférieur; » et, au contraire, le rayon qui est venu de la réfraction irrégu- » lière, comme CE, ne fait plus qu'une réfraction régulière. Mais » dans toutes les autres positions infinies, outre celles que je viens » de déterminer, les rayons DG et CE se partagent de rechef chacun

---

(1) Les substances connues de ce genre sont : le spath d'Islande. — L'arragonite. — La chaux sulfatée. — La barite sulfatée. — La strontiane sulfatée. — La soude boratée. — Le quartz. — Le zircon. — Le corindon. — La cimophane. — L'émeraude. — L'euclase. — Le feldspath. — La mésotype. — Le péridot. — Le soufre. — Le mellite. — Le plomb carbonaté. — Le fer sulfaté.

M. *Malus*, le premier, a fait voir que deux cristaux quelconques à double réfraction et de nature différente, présentaient le même phénomène.

» en deux, par la réfraction du cristal inférieur, de sorte que du » seul rayon AB il s'en fait quatre, tantôt d'égale clarté, tantôt » de bien moindre les uns que les autres, selon la diverse rencon- » tre des positions des cristaux; mais qui ne paraissent pas avoir » ensemble plus de lumière que le seul rayon AB....... Pour dire » comment cela se fait, je n'ai rien trouvé jusqu'ici qui me satisfasse ».

Un assez grand nombre de substances diaphanes ont la propriété de doubler les objets qu'on regarde à travers, suivant certaines directions; c'est-à-dire, que le rayon lumineux parti de cet objet, se divise en traversant ce milieu diaphane interposé ; c'est ce qu'on observe en plaçant un rhomboïde de sphath d'Islande sur les caractères d'un livre, sur une ligne noire, ou sur un point noir : on verra deux images de la ligne ou du point ; si l'on projette un rayon solaire sur le corps, on obtient deux rayons émergens : l'un de ces rayons suit les lois de la réfraction ordinaire, assignées par *Descartes*: on l'appele *rayon ordinaire*; l'autre nommé *rayon extraordinaire*, est soumis à des lois particulières. Ce rhomboïde (*fig.* 124) a six angles solides aigus et deux obtus : dans les angles dièdres aigus, l'inclinaison des faces est 74° 55'; elle est par conséquent de 105° 5' dans les autres. On nomme *section principale* le plan qui passe par les deux diagonales menées dans chaque base par les sommets des angles obtus : le plan de cette section coupera le rhomboïde suivant un parallélogramme ABA'B' (*fig.* 125), dans lequel les côtés AB et A'B' sont les petites diagonales des rhombes opposés, et AB', A'B les arrêtes qui les joignent dans le rhomboïde; cette section principale est perpendiculaire à deux faces opposées. La droite AA' menée par les deux angles solides obtus A et A', s'appelle *l'axe du cristal* : elle est également inclinée sur toutes les faces et forme avec elles un angle de 45° 23' 25", l'angle BA'A' étant de 63°, 44°, 45" : c'est à cet axe que se rapportent tous les phénomènes de la réfraction extraordinaire. Examinons d'abord comment s'opère la réfraction dans le plan de la section principale : LI (*fig.* 126) représente le rayon incident ; IO le rayon réfracté ordinaire, et IE le rayon réfracté extraordinaire : NIN' est la direction de la normale au point I d'incidence. Lorsque l'incidence LI est perpendiculaire, le rayon ordinaire se confond avec la normale, et traverse le cristal sans se réfracter; mais le rayon extraordinaire IE se brise au point d'incidence I, et est rejetté vers

le petit angle solide B': cet effet est général pour toutes les autres incidences et il détermine toujours la position du rayon extraordinaire par rapport à l'autre : la marche du rayon ordinaire est l'élément ou la donnée de laquelle on part, pour calculer celle du rayon extraordinaire ; car, dans les cristaux à un seul axe que nous considérons ici, l'une des deux réfractions suit toujours la loi de *Descartes*. Si par chaque point I d'incidence (*fig.* 127), on mène une parallèle I*a* à l'axe AA' du cristal, tous les phénomènes se passent comme s'il émanait de l'axe une force *répulsive* qui agirait seulement sur un certain nombre de particules lumineuses, et tendrait à les écarter de sa direction, en rejettant toujours les rayons vers B', parce qu'ils se trouvent toujours de ce côté de l'axe, sous quelqu'incidence qu'ils soient entrés. Soit L le point rayonnant (*fig.* 128), O l'œil que nous supposerons toujours dans le plan de *la section principale*; il y aura un rayon ordinaire L II' qui pourra parvenir à l'œil O ; à son entrée en I par la première face du rhomboïde, il produira un rayon extraordinaire II'' qui ne pourra arriver à l'œil. Pour s'en assurer, qu'on mène par le point d'incidence I la ligne I*a* parallèle à l'axe AA' du rhomboïde ; la force émanée de cet axe repoussant les molécules lumineuses, il faut que celles qui lui cèdent, s'éloignent au-delà du rayon ordinaire, et qu'elles prennent la route II'' ; mais arrivées en I'', à la seconde surface, elles doivent sortir parallèlement à la direction primitive LI : il en résulte donc un rayon I''O' qui étant parallèle à I'O, ne peut passer par O, et à plus forte raison, démontrera-t-on la même chose de tout autre rayon extraordinaire provenant de rayons incidens qui s'approcheraient davantage de l'angle obtus A'. Ainsi l'image extraordinaire ne pourra être donnée que par des rayons incidens qui s'écarteront de LI vers B' : il est aisé de reconnaître que, parmi ceux-ci, il s'en trouvera un L*i* dont le faisceau ordinaire ne pourra parvenir à l'œil qui ne recevra que le faisceau extraordinaire après son émergence : ensorte que l'œil recevra deux images, l'une ordinaire suivant OI', l'autre extraordinaire suivant O*i*', et la première paraîtra toujours plus voisine que l'autre du petit angle solide B'. Dans le cas particulier où le point rayonnant L et l'œil O sont situés sur une perpendiculaire OL aux faces opposées du rhomboïde (*fig.* 129), le faisceau ordinaire II' est perpendiculaire aux deux faces ; mais l'image extraordinaire pro-

vient encore du rayon incident Li incliné vers l'angle aigu B'. On démontre que l'image ordinaire paraît toujours plus rapprochée de l'œil que l'image extraordinaire. Si l'on coupe le cristal par deux plans perpendiculaires à son axe AA' (*fig.* 130), de manière à former ainsi deux nouvelles faces *abc* et *a'b'c'*, parallèles entre elles, et qu'on dirige un rayon OI, perpendiculairement à ces faces, il pénétrera leurs couches parallèlement à l'axe du cristal primitif. Ainsi, en supposant que la force répulsive émane de cet axe, elle se trouvera nulle, et le rayon ne devra pas se diviser. C'est en effet ce qui a lieu, et l'on n'observe ainsi qu'une seule image.

On trouve même, en faisant l'expérience, que l'image reste simple lorsque la seconde face de la plaque est inclinée sur l'axe, la première face étant toujours perpendiculaire à cet axe et au rayon incident : cela arriverait, par exemple, si l'on n'enlevait que le premier angle solide A du rhomboïde primitif ; le rayon incident OI continuerait sa route parallèment à l'axe, comme tout-à-l'heure; et, en sortant par la seconde face, il se réfracterait dans l'air en une seule direction, suivant la loi de la réfraction ordinaire, c'est-à-dire, suivant la proportion constante des sinus. De là, on doit conclure que, réciproquement, un rayon incident RI qui passerait, avec le même angle d'incidence, de l'air dans un pareil prisme, s'y réfracterait parallèlement à l'axe, en un seul rayon, et en sortirait en I de la même manière : c'est aussi ce que l'expérience confirme. Si, ayant taillé un pareil prisme, on met contre l'œil sa face perpendiculaire à l'axe, de manière à ne recevoir que les rayons qui arrivent dans cette direction, toutes les images des objets extérieurs, sont simples; elles éprouvent seulement sur leurs bords cette diffusion qui tient au phénomène général de la décomposition de la lumière par des prismes.

Mais si la force répulsive qui produit la réfraction extraordinaire, émane réellement de l'axe, comme les phénomènes l'annoncent, elle ne peut devenir nulle que lorsque le rayon réfracté lui est parallèle. La coupe que nous venons de déterminer, est donc la seule dans laquelle un prisme ainsi cristallisé puisse donner des images simples; c'est encore ce que l'expérience confirme; et l'on peut se servir de ce caractère pour reconnaître la position de l'axe dans un morceau quelconque de spath d'Islande.

Sous les incidences obliques, le rayon doit se diviser, puisqu'alors il forme un certain angle avec l'axe, ce qui arrive, et, de plus, à incidence égale; la réfraction extraordinaire est la même autour de l'axe, ce qui montre que la force répulsive agit, à partir de l'axe, de tous les côtés également. Si le rayon incident se trouve dans un plan différent de celui de la section principale, le rayon extraordinaire s'écartera du plan d'incidence; mais les deux rayons émergens n'en seront pas moins parallèles au rayon incident. Si on taille dans le cristal une plaque parallélipipède ABA'B' (*fig.* 131) dans la quelle l'arrête AA' représente la direction de l'axe, on pourra mesurer les réfractions extraordinaires dans les deux sens rectangulaires AB et A'B', c'est-à-dire, en rendant d'abord le plan d'incidence perpendiculaire et ensuite parallèle à AA'. Si dans le premier plan AB*ba* (*fig.* 132), on fait varier l'angle d'incidence, on trouve qu'il existe pour le rayon extraordinaire, comme pour le rayon ordinaire, entre les sinus des angles d'incidence et de réfraction un rapport constant, ce rapport n'étant pas le même pour les deux réfractions : dans ce cas, le rayon ordinaire IO est à, incidence égale, plus rapproché de la normale que le rayon extraordinaire IE : c'est le contraire dans les cristaux à double refraction attractive où le rayon extraordinaire se trouve plus refracté et plus rapproché de la normale que l'autre (Voyez plus bas). Supposons maintenant le plan d'incidence dans la face AA'*a'a* (*fig.* 133 et 134) : SI étant le rayon incident et IO le rayon ordinaire, la force émanée de l'axe AA' tendra à augmenter l'angle AIO, si le cristal est répulsif (*fig.* 133), et à le diminuer s'il est attractif (*fig.* 134) : de sorte que, dans le premier cas, le rayon extraordinaire IE devra se rapprocher de la normale plus que l'autre, et dans le second, s'en approcher moins; ce qui est, en effet, conforme à l'observation. Ainsi que nous l'avons déjà insinué, il existe des cristaux où le rayon extraordinaire est attiré vers l'axe au lieu d'être répoussé, ce qui a fait distinguer les cristaux doués de la double réfraction, en cristaux *à double réfraction attractive* et *à double réfraction répulsive ;* parmi ceux-ci se trouve *le cristal de roche* dans lequel le rayon extraordinaire se trouve toujours plus rapproché de l'axe que le rayon ordinaire. Toutes les substances dont la forme cristalline peut être rapportée à un rhomboïde, ou à un prisme à base carrée, n'ont qu'un seul axe de

de double réfraction. D'autres substances cristallines, telles que les topazes, les micas, les sulfates de chaux, de baryte, etc. ont dans leur intérieur deux axes de double réfraction, disposés symétriquement par rapport aux formes cristallines, c'est-à-dire, inclinés également sur les faces correspondantes. M. *Fresnel* a reconnu que, dans ces cristaux, il n'y a pas de rayon ordinaire proprement dit, ou, en d'autres termes, qu'aucune portion de lumière qui les traverse, ne s'y réfracte constamment suivant la loi de *Descartes* : on lui doit aussi la construction qui représentela loi générale de la double réraction des cristaux à deux axes ; à ces cristaux s'applique encore la distinction déjà faite précédemment des deux sortes de doubles réfractions *attractive* et *répulsive*.

Lorsqu'on envisage la lumière comme une matière, la réfraction des rayons est produite par les forces attractives que les particules des corps exercent sur les molécules lumineuses, forces dont l'effet n'est sensible qu'à de très-petites distances, et qui sont, par là, tout-à-fait semblables à celles que produisent les affinités chimiques. De là il résulte que, lorsque les particules lumineuses sont à une distance sensible du corps réfringent, elles n'en éprouvent qu'une action tout-à-fait inappréciable, de sorte que leur route primitive et rectiligne n'en est point altérée; elles ne commencent à se dévier de cette direction, qu'au moment où elles approchent excessivement près de la surface réfringente, et même cet effet ne subsiste que pendant un instant infiniment court ; car, dès que les particules ont pénétré dans l'intérieur des corps réfringens à une excessivement petite pronfondeur, l'action du nouveau milieu qui les environne, devient sensiblement égale de toutes parts, ce qui rend de nouveau leur route rectiligne, quoique différente de la première qu'elles suivaient d'abord. On conçoit donc d'après cela, que la portion courbe de leur trajectoire, doit n'avoir qu'une étendue infiniment petite, inappréciable à nos sens, de sorte que le rayon paraisse se briser et changer brusquement de direction au point où il se réfracte, ce qui est en effet conforme à l'observation. Mais, par cela même aussi, la courbe qu'il décrit n'étant pas apercevable, on ne peut pas chercher dans les affections de sa forme, la nature des forces qui sollicitent en chaque point les particules lumineuses, comme on a découvert la loi de la gravitation universelle, d'après

la forme des orbites que les planètes et les comètes décrivent. Il faut donc suppléer, autant qu'on le peut, à cette ignorance, par quelque autre caractère également tiré des observations. *Newton* y est parvenu pour la réfraction ordinaire, en considérant chaque particule lumineuse qui traverse une surface réfringente, comme sollicitée avant, pendant, et après son passage, par des forces attractives, sensibles seulement à des distances très-petites, et émanant de toutes les molécules du milieu réfringent. Or, ces données suffisent, lorsqu'on veut ne calculer que les relations des vitesses et des directions définitives, qui ont lieu, soit au dedans du milieu, soit au dehors, quand la distance des molécules lumineuses à la surface réfringente, est devenue assez considérable, pour que la route du rayon soit sensiblement rectiligne, ce qui comprend toutes les limites de distance où nous puissions observer.

Pour la réfraction extraordinaire, on n'a pas même cet avantage de pouvoir définir l'origine de la force moléculaire, ni comment elle émane individuellement de chaque particule du cristal; car, ce que nous avons dit sur la représentation des phénomènes par des forces attractives ou répulsives émanées des axes, n'est que l'indication d'un résultat composé, et non pas l'expression d'une action moléculaire. M. *Laplace* a appliqué à ce cas le principe connu en mécanique, sous le nom de *Principe de la moindre action;* d'où il a conclu la loi connue de la réfraction ordinaire.

De la Polarisation de la Lumière.

La polarisation de la lumière est une propriété découverte par *Malus*, et qui consiste dans certaines affections que les rayons lumineux prennent, lorsqu'ils ont été réfléchis par des surfaces polies, ou réfractés par ces surfaces, ou enfin transmis à travers des corps cristallisés doués de la double réfraction. Dans l'impossibilité d'exposer ici complètement les détails des ces phénomènes, je vais du moins indiquer quelques-unes des expériences par lesquelles on les produit.

La première et la principale consiste à donner aux rayons lumineux une modification telle que les molécules qui composent un même rayon, échappent ensemble à la réflexion, lorsqu'on les présente aux surfaces réfléchissantes par de certains côtés et sous de certaines incidences déterminées.

Pour en donner un exemple, supposons qu'un rayon solaire SI, (*fig.* 135), tombe sur la première surface LL d'un plan de verre poli et non étamé, en formant avec ce plan un angle de 35° 25′; ce rayon se réfléchira suivant une ligne droite II′, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence : dans un point quelconque de son trajet, recevez-le sur un autre plan de verre L′L′ qui soit pareillement poli et non étamé, il y subira encore en général une seconde réflexion partielle ; mais cette réflexion deviendra nulle, si le second plan de verre forme aussi un angle de 35° 25′ avec la droite II′, et si, de plus, il est tourné de manière que la seconde réflexion se fasse dans un plan II′L′, perpendiculaire au plan SIL dans lequel la première réflexion s'est opérée.

Afin de faire mieux comprendre cette disposition des deux glaces, imaginons que II′ soit une ligne verticale, et que le premier plan de réflexion SIL soit le méridien ; alors le second plan de réflexion II′L′ perpendiculaire au premier, sera le vertical qui passe par les points d'est et d'ouest.

Il faut avoir soin de placer un corps noir derrière la glace L′L′ du côté opposé à la lumière réfléchie, afin d'intercepter les rayons étrangers qui pourraient être envoyés de ce côté par les objets extérieurs, et qui, traversant la glace et arrivant à l'œil, se mêleraient avec les rayons réfléchis que l'on peut observer. Il faut prendre la même précaution pour la première glace réfléchissante LL; et, en outre, comme celle-ci n'est jamais employée que pour la réflexion qui s'opère à sa première surface, on peut noircir, pour toujours, sa surface postérieure avec de l'encre de Chine, ou en l'exposant à la fumée d'une lampe ; mais il ne faut pas recouvrir cette surface d'un enduit métallique.

Si au moyen d'un appareil convenable dont on trouvera la description dans le VIe *livre du grand traité de physique de Biot*, on fait tourner la seconde glace autour du rayon réfléchi II′, de manière qu'elle forme toujours avec lui le même angle, le plan dans lequel s'opère la seconde réflexion, se trouvera successivement dirigé vers les différens points de l'horison, ou astronomiquement parlant, dans les différens azimuts. Cela posé, voici les différens phénomènes qu'on observera. Lorsque le second plan de réflexion II′ L′ est dirigé dans le méridien, et coïncide avec le premier, l'intensité de la lumière

réfléchie par la seconde glace, est à son *maximum*. A mesure que ce second plan, en tournant autour de la verticale II′, s'éloigne d'être parallèle au premier, l'intensité de la lumière réfléchie, diminue. Enfin lorsque le second plan de réflexion rentre dans le vertical d'est et d'ouest et qu'il est perpendiculaire au premier, l'intensité de la lumière réfléchie spéculairement, est absolument nulle sur les deux surfaces de la seconde glace : la lumière la traverse en totalité. Si l'on continue à tourner le second plan de réflexion autour de II′, les mêmes phénomènes se reproduisent dans un ordre inverse, c'est-à-dire que l'intensité de la lumière réfléchie, croît précisément comme elle avait diminué, et elle redevient la même à une distance du plan vertical d'est et ouest. On voit donc que, dans la rotation complète de la seconde glace autour de II′, sous le même angle II′L′, l'intensité de la lumière réfléchie, présente deux *maxima* correspondans aux azimuts 0° et 180°, et deux *minima* répondans aux azimuts 90° et 270° : de plus autour de ces limites, les variations sont les mêmes dans les différens quadrans.

Jusqu'ici nous avons supposé que le rayon, soit incident, soit réfléchi, faisait avec les deux glaces un angle de 35° 25′ : c'est en effet seulement sous cet angle que le phénomène a lieu complètement. Si, sans changer l'inclinaison du rayon sur la première glace, on fait d'abord varier tant soit peu l'inclinaison de la seconde, l'intensité de la lumière réfléchie, n'est plus nulle dans aucun azimut, mais elle devient la plus faible possible dans le vertical d'est et d'ouest, où elle était nulle auparavant. Si, au contraire, sans changer l'inclinaison du rayon réfléchi sur la seconde glace, on fait seulement varier son incidence sur la première, on trouvera encore que ce rayon, en tombant sur la seconde glace, ne la traverse pas totalement; il éprouve à sa première et à sa seconde surface une réflexion partielle qui, si l'on a peu dérangé la première glace, atteindra son minimum dans le vertical d'est et ouest.

On produit encore des phénomènes pareils, en substituant aux glaces des lames polies formées avec la plupart des substances diaphanes : pour cela, les deux plans de réflexion successifs doivent toujours rester rectangulaires; mais il faut présenter les lames aux rayons lumineux sous des angles divers selon leur nature, et selon celle du milieu ambiant, à travers lequel la lumière leur arrive. Si

la substance de la lame réfracte *plus* fortement que ce milieu, ou *autant*, ou *moins*, l'angle de polarisation compté de la surface commune, est *moindre* que 45°, ou *égal* ou *plus grand*; et il se rapproche de la première ou de la dernière limite, d'autant plus que la différence des rapports de réfraction, est plus forte dans le sens qui convient à chacune d'elles. Par exemple, lorsque la réflexion s'opère sur la première surface d'un morceau de verre poli, environné d'air, nous avons vu que l'angle de polarisation, compté de la surface, est de 35° 25'; il serait seulement de 32°, si le verre était remplacé par un morceau de baryte sulfatée, et se réduirait à 23° sur le diamant. Maintenant substituez à l'air de l'huile essentielle de thérébentine, qui réfracte presqu'exactement comme le verre; alors l'angle de polarisation, soit à la première surface du verre, soit à la seconde, différera extrêmement peu de 45° : à la seconde surface, la réflexion est censée se faire sur le milieu ambiant qui limite le verre : supposez que ce milieu soit de l'air, alors l'incidence intérieure dans la verre, toujours comptée de la surface, devra, pour la polarisation complète, surpasser 45° : aussi est-elle de 57° 25' 30", et elle serait de 72° 21' 50" à l'émergence du diamant. En général, d'après une remarque très-curieuse de M. *Brewster*, l'incidence de la polarisation complète, est toujours exactement, ou à très-peu de chose près, telle que le rayon réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté. Les angles déterminés d'après cette condition, s'accordent singulièrement bien avec l'expérience, et satisfont aussi aux limites que nous avons fixées plus haut; car, en représentant par SI, IR, IR', (*fig.* 136, 137 et 138), les rayons incidens, réfléchis et réfractés qui s'en déduisent, dans les trois cas que nous avons distingués, on voit bien que l'angle de polarisation SIA, aura avec 45° les rapports de différence ou d'égalité que nous avons annoncés d'après l'expérience. La loi s'applique même aux substances qui, ainsi que le diamant et le soufre, ne produisent jamais qu'une polarisation incomplète : alors l'angle indiqué par la construction de M. *Brewster*, est celui sous lequel il reste le moins de lumière non polarisée dans le rayon réfléchi.

Le mode d'observation que nous avons appliqué aux glaces polies, étant employé généralement, peut servir à prouver que la polarisation, lorsqu'elle est complète, est toujours un modification

parfaitement identique, sur quelque substance qu'elle ait été déterminée. Car, lorsqu'on a disposé deux lames d'une substance, de manière que le rayon réfléchi par la première, échappe à la réflexion sur la seconde, auquel cas cette substance polarise complètement la lumière, on peut substituer à la seconde lame une glace polie, et, en plaçant cette glace, par rapport au rayon réfléchi, sous l'inclinaison qui produit la polarisation complète sur sa surface, laquelle est de 35° 25′, le rayon la traversera encore. Réciproquement, on peut remplacer la première lame par une glace polie qui reçoive les rayons incidens sous un angle de 35° 25′ avec sa surface, et le rayon réfléchi qu'elle produira, échappera encore à la réflexion de la seconde lame, dans les circonstances propres à la substance dont cette lame est faite. Enfin, les variations d'intensité du rayon réfléchi, aux divers azimuts de la seconde lame, sont toujours assujéties aux mêmes lois.

Lorsqu'un rayon lumineux a reçu la polarisation dans un certain sens, par les procédés que nous venons de décrire, il transporte avec lui cette propriété dans l'espace, et la conserve sans altération sensible, quand on lui fait traverser perpendiculairement des épaisseurs mêmes considérables, d'air, d'eau, et, en général, des substances qui exercent la réfraction simple (1) : mais celles qui exercent la double réfraction altèrent, en général, la polarisation du rayon, et d'une manière en apparence subite, pour lui en communiquer une nouvelle de même nature dans un autre sens. Ce sont ces deux genres d'action que nous allons examiner.

Non-seulement le carbonate de chaux modifie la marche des rayons lumineux, mais encore il change les propriétés de ces rayons. Si l'on prend un second rhomboïde de spath d'Islande et qu'on présente *son plan de section principale* parallèlement à celui d'un rhomboïde de même spath, qui a servi à produire les deux réfractions, ce phénomène n'aura plus lieu dans le nouveau rhomboïde : le rayon ordinaire traversera le second cristal, sans se dévier, et le rayon extraordinaire sera réfracté, mais il restera simple comme le premier. Si les

(1) Je dis, *en général,* parce que j'ai découvert qu'il existe des substances non cristallisées, et même des liquides qui troublent la polarisation en vertu de certaines forces propres à leurs particules et indépendantes de leur mode d'aggrégation.

deux plans des sections principales, sont à angles droits, le rayon ordinaire sera réfracté extraordinairement par le second cristal, tandis qu'au contraire, le rayon extraordinaire sera réfracté ordinairement. Généralement, si les deux faisceaux émergens correspondans à un même rayon lumineux, et qui sont parallèles, tombent perpendiculairement sur la surface d'un second rhomboïde, ou d'un autre cristal à un seul axe, chacun d'eux ne donne plus généralement deux faisceaux égaux; mais il se divise en deux pareils faisceaux, ou en deux faisceaux d'intensités inégales, ou même il ne se divise point du tout, et reste simple, selon l'angle que la section principale du second cristal fait avec le premier. Pour vérifier ces résultats par l'expérience, on forme sur un papier blanc, un point rond avec de l'encre bien noire, et on pose dessus l'un des deux rhomboïdes : en plaçant l'œil verticalement, on voit deux images du point noir situées sur une même droite parallèle à la petite diagonale des faces du rhomboïde, comme on l'a déjà dit : ces deux images sont sensiblement d'égale intensité, et la ligne qui les joint, tourne à mesure qu'on fait tourner le cristal. Maintenant sur celui-ci posez l'autre rhomboïde, de façon que toutes ses faces soient parallèles à celles du premier; vous n'observerez encore que deux images du point noir : seulement elles seront plus écartées qu'auparavant. Mais si vous tournez lentement le rhomboïde supérieur, afin d'écarter l'une de l'autre les deux sections principales, chacune de ces deux images se divisera en deux autres, et s'affaiblira par ce partage : cet affaiblissement deviendra plus sensible à mesure qu'on augmentera l'angle des deux sections principales, et enfin lorsqu'elles seront perpendiculaires, les premieres images seront complètement éteintes. En continuant à tourner le rhomboïde supérieur, à partir de la position perpendiculaire, les mêmes phénomènes se reproduiront dans les quatre quadrans. *Malus* qui, le premier, a observé le phénomène en question, et qui lui a donné le nom de *polarisation*, a comparé les molécules lumineuses à de petites aiguilles aimantées qui oscillent dans tous les sens, lorsqu'elles traversent des milieux ordinaires; mais lorsqu'elles passent à travers un milieu doué de propriétés particulières, tel, par exemple, que le spath d'Islande, toutes ces petites aiguilles se fixent; une partie se dirige dans le sens de la section principale, d'où résulte le rayon extraordinaire; les autres qui con-

stituent le rayon extraordinaire, se fixent aussi, mais perpendiculairement au plan de cette section; ainsi ces directions ne diffèrent entre elles que d'un quart de révolution, et il est permis d'admettre qu'elles sont dues à une propriété particulière de l'axe du cristal. Ainsi les faisceaux émergens se trouvent avoir acquis par la réfraction, une proprieté physique qui les distingue essentiellement de la lumière directe.

Lorsqu'un rayon de lumière a été polarisé par la réflexion, en tombant sur une glace polie, sous une inclinaison de 35° 25′, si on lui fait traverser perpendiculairement un rhomboïde de spath d'Islande, il se comporte précisément comme s'il avait subi la réfraction ordinaire à travers un premier rhomboïde dont la section principale serait parallèle au plan de réflexion. Si la section principale du rhomboïde qu'on lui présente, est parallèle à ce plan, le rayon ne se divise point, et toutes les molécules qui le composent, subissent la réfraction ordinaire; mais si la section principale s'écarte du plan de réflexion, le rayon en pénétrant le rhomboïde, se divise en deux, l'un de réfraction ordinaire, l'autre de réfraction extraordinaire: ce dernier d'abord très-faible, augmente d'intensité à mesure que la section principale du rhomboïde, fait un plus grand angle avec le plan de réflexion; en même temps, l'intensité du rayon ordinaire diminue; enfin elle devient nulle, quand la section principale du rhomboïde devient perpendiculaire au plan de réflexion; alors le rayon extraordinaire contient toutes les molécules transmises. Ayant ainsi analysée par la réfraction d'un cristal, la lumière que la réflexion spéculaire avait polarisé, on peut réciproquement analyser la lumière modifiée par un cristal, en la soumettant à la réflexion spéculaire: c'est ce qu'a fait *Malus*: il a disposé verticalement la section principale d'un rhomboïde de spath calcaire, et après avoir divisé un rayon lumineux à l'aide de la double réfraction dans ce rhomboïde, il a fait tomber les deux faisceaux qui en provenaient sur une glace polie, de manière qu'ils formassent un angle de 35° 25′ avec la surface et que le plan d'incidence fut parallèle à la section principale du rhomboïde. Le rayon ordinaire a subi la réflexion partielle; mais le rayon extraordinaire a pénétré tout entier dans la glace et l'a traversée comme il eût fait, s'il eut été préalablement polarisé par la réflexion, dans un plan perpendiculaire à

la section principale du rhomboïde. Ces expériences prouvent qu'un rayon de lumière, polarisé par la réflexion sur une glace, est modifié précisément comme il le serait, s'il avait été réfracté *ordinairement* dans un rhomboïde de spath d'Islande, dont la section principale serait parallèle au plan de réflexion; ou encore comme s'il avait été réfracté *extraordinairement* dans un rhomboïde dont la section principale serait perpendiculaire à ce même plan. Ces résultats ont lieu quelles que soient les substances des cristaux, qu'ils soient tous deux à un ou à deux axes.

Dans toutes ces expériences, la lumière est toujours restée blanche; mais on doit à M. *Arago* une observation curieuse. On a vu que quand on présente au rhomboïde un autre rhomboïde ou une plaque de cristal, en observant que la section principale ne soit ni parallèle ni perpendiculaire au plan primitif de polarisation, les deux images ont lieu; de plus, on observe qu'elles ont la même intensité, quand cette section fait avec le plan un angle de 45°; que si la plaque est de cristal de roche, ces deux images seront blanches; elles le seront encore, si l'on interpose une plaque de sulfate de chaux épaisse de plus d'un millimètre; mais si cette dernière plaque a moins d'un millimètre d'épaisseur, ou si l'on interpose une lame de mica extrêmement mince, les deux images seront alors colorées; leurs couleurs seront complémentaires, et selon que l'angle que le plan de polarisation fait avec la nouvelle plaque, sera plus grand ou plus petit que 45°, les deux images s'affaibliront, en passant par des teintes qui ne cesseront pas d'être complémentaires. L'emploi d'un miroir diaphane, au lieu d'une plaque de sulfate de chaux ou de mica, donne lieu à un phénomène analogue; une partie du rayon est réfléchie, et l'autre est réfractée, et ces deux rayons sont diversement colorés et de teintes complémentaires: si on fait ensuite varier la position du plan de réflexion du miroir, on obtient la même gradation qu'avec le sulfate de chaux ou de mica. M *Biot* a déterminé pour les couleurs, les variations qui dépendent de l'épaisseur des plaques; elles sont soumises aux mêmes lois que les anneaux colorés: ainsi les épaisseurs de deux lames de même matière, qui donnent deux teintes différentes, sont entre elles dans les mêmes rapports que les épaisseurs des lames d'air qui produisent les mêmes couleurs dans les phénomènes des anneaux colorés. M. *Arago* a encore reconnu que la

lumière produite par les gaz enflammés, ne présente aucune trace de polarisation, tandis que celle qui émane des corps incandescens, est manifestement polarisée, sinon en totalité, du moins en grande partie : il a conclu de là que cette lumière se forme dans leur intérieur et qu'elle se réfracte, en traversant les couches supérieures de la masse incandescente ; et comme la lumière du soleil, n'est nullement polarisée, il tire encore cette conclusion qui vient à l'appui des conjectures d'*Herschell*, que le soleil n'est point une masse en ignition, et qu'il est entouré d'une atmosphère gazeuse enflammée. Quand le ciel est pur et dégagé de nuages, les rayons lumineux réfléchis par les diverses parties de l'atmosphère, sont plus ou moins polarisés : ceux qui arrivent dans la direction même du soleil, n'offrent point de traces de polarisation; mais elle devient d'autant plus sensible que l'angle formé par les rayons incidens et la direction du soleil, est plus grand, de sorte que quand cet angle est droit, la polarisation est complète; elle diminue ensuite à mesure que l'angle augmente, et elle devient nulle quand les rayons réfléchis sont opposés au soleil. Si donc on se regarde comme placé au centre d'une sphère dont le soleil occupe un des pôles, *la polarisation est à son maximum* aux différens points de l'équateur, et va en diminuant comme les carrés des sinus jusqu'au pôle où elle est nulle. Pendant le jour, la polarisation n'est pas complète, comme à l'instant où le soleil est un peu au-dessous du plan de l'horison (Corresp. Math. et Phy. tom. 1.er pag. 275 et 338).

Soient HO (*fig.* 139) un plan horizontal, MN une glace non étamée, LI un rayon lumineux, faisant avec l'horizon un angle de 19° 10′, et avec la glace MN un angle MIL de 35° 25′ : ce rayon se réfléchissant en partie suivant une verticale II′, telle que l'angle NII′ soit aussi de 35° 25′, le rayon réfléchi II′ est *polarisé*. Si on faisait tomber ce rayon sur un cristal d'Islande, dans le plan de sa section principale, et si ce plan était perpendiculaire à la glace MN, il n'éprouverait pas la double réfraction. En faisant tomber ce même rayon II′, sur une autre glace non étamée M′N′ parallèle à MN, il se réfléchirait en partie suivant I′L′, d'après la loi ordinaire de réflexion ; mais si on fait tourner la glace M′N′ autour de la droite II′, en faisant avec cette droite le même angle, de manière qu'elle soit toujours tangente au cône droit dont l'axe se-

rait II′ et l'arête I′M′, elle arrivera dans une position telle, que la réflexion partielle du rayon lumineux II′, n'aura plus lieu; ce rayon déja polarisé se réfractera dans l'intérieur de la glace M′N′, et sortira encore *polarisé* de cette glace. Ceci est déjà connu.

La lumière réfractée en I*i* est en partie polarisée : pour séparer la partie polarisée de celle qui ne l'est pas, on la fait passer à travers une suite de glaces parallèles à MN : la lumière directe qui a échappé a la polarisation de l'une des glaces, se polarise en partie sur la glace suivante, et on obtient par ce moyen un rayon I*i* qui est totalement polarisé en sens contraire du rayon réfléchi II′; c'est-à-dire qui se réfracte extraordinairement, tandis que le rayon réfléchi II′ se réfracte ordinairement, lorsqu'ils passent ensemble dans le plan de la section principale d'un cristal à double réfraction, perpendiculaire à la glace MN. Pour vérifier cette différence de polarisation, on peut placer en *mn* un petit miroir étamé, parallèle à la glace MN ou M′N′; le rayon I*i* se réfléchit en *ii*′ parallèlement à II′ : ayant transporté la glace M′N′ en *m*′*n*′ parallèlement à elle-même, jusqu'au point d'incidence *i*′ du rayon *ii*′, ce rayon *ii*′ sera entièrement réfracté par la glace *m*′*n*′. Il faut se rappeler que par rapport au rayon II′, cette réfraction totale n'a eu lieu que lorsque l'extrémité de la glace eut décrit un quart de circonférence.

Dans cette expérience, on décompose par réflexion et par réfraction, un rayon direct en rayon ordinaire et extraordinaire, et une substance diaphane quelconque remplace pour cette décomposition, le cristal d'Islande, ou toute autre substance jouissant de la double réfraction.

L'angle sous lequel une substance diaphane décompose la lumière en rayon ordinaire et extraordinaire, l'un par réflexion et l'autre par réfraction, varie dans les différentes substances.

Toutes les fois qu'on produit par un moyen quelconque un rayon polarisé, on obtient nécessairement un second rayon polarisé dans un sens diamétralement opposé ; et ces rayons suivent des routes différentes. La lumière ne peut pas recevoir cette modification dans un sens, sans qu'une partie proportionnelle ne la reçoive dans le sens contraire. »

NOTE SUR LA DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE.

« En parlant de ce phénomène (*pag.* 418), nous aurions dû rapporter les expériences de *s' Gravesande* (Phys. Elem. Math., n.° 2722 et seq.) : c'est une omission que nous allons réparer. Concevons que *bac* (*fig.* 140) soit une section faite par un plan horizontal dans une lame tranchante située verticalement : si l'on présente le bord aigu *c* de cette lame à un faisceau de lumière *dmke*, dirigé horizontalement, la lame attirera les rayons *de* et *fh*, qui s'infléchiront vers elle de moins en moins, à mesure qu'ils seront plus éloignés, ensorte qu'à une certaine distance qui déterminera la limite de l'attraction, il y aura un rayon *gi* qui passera sans inflexion; au-delà de ce terme, l'attraction se changera en répulsion, et les rayons ultérieurs *lk* et *mn* s'infléchiront en sens opposé, de manière que *lk* croisera *mn* pour obéir à la force qui le repousse à une plus grande distance. Supposons maintenant que l'on place vis-à-vis de la lame *acb* (*fig.* 141), une autre lame semblable $a'c'b'$ qui tourne vers elle son bord aigu, et que l'on introduise dans l'espace intermédiaire un faisceau de lumière $dee'd'$; si la distance entre e et e' est peu considérable, comme $\frac{1}{10}$ de pouce, chacun des deux tranchans n'aura aucune action sur les rayons repoussés par l'autre, et tout se passera par rapport à chaque tranchant, comme dans le cas d'une seule lame. On s'est dispensé de représenter ici les rayons repoussés qui sont censés se confondre avec la lumière directe *op*, *rs*. Si l'on reçoit le faisceau sur un plan AB, il s'y produira une tache blanche aux deux côtés de laquelle la lumière s'épanouira sous la forme d'une espèce de frange, par une suite de l'inflexion des rayons dans le voisinage des tranchans. Que l'on rapproche ensuite les deux lames, en diminuant l'espace cc'; tant que les rayons attirés ou repoussés par chaque tranchant, seront hors de la sphère d'activité de l'autre, ceux qui passaient le plus près des tranchans, tels que *de* et $d'e'$ se trouvent interceptés, et cette perte n'étant compensée par aucun accroissement de force, la tache blanche se contractera. Si l'on continue à rapprocher les deux lames, il y aura un terme où chacune repoussera les rayons sur lesquels l'autre agit par attraction, ce qui augmentera les inflexions de ces rayons; en sorte que les franges lumineuses se rapprocheront de plus en plus des points A et B, et que l'espace intermédiaire s'élargira ; en même temps cet espace s'obscurcira vers le milieu, parce que les rayons directs qui l'éclairaient en cet endroit, se détour-

neront à droite et à gauche par l'effet de la double force qui les sollicite. Ces expériences sont du plus haut intérêt en ce qu'on y voit la répulsion succéder à l'attraction qui devient zéro dans le point où le rayon passe en ligne droite, et au-delà duquel les quantités négatives remplacent les positives. L'action des deux forces ne se borne pas à changer la direction des rayons; elle décompose la lumière en sorte que les franges présentent différentes séries de couleurs, à-peu-près comme dans le phénomène des anneaux colorés.»

SUPPLÉMENT

A LA PHYSIQUE DE FISCHER.

Ce supplément se compose 1.° d'un extrait *du livre XII.ᵉ, tom. V de la Mécanique céleste, par M. le marquis De Laplace;* 2.° de trois tableaux empruntés d'un tableau chimique sorti des presses de M. *Hayez* de Bruxelles ; 3.° d'un essai de météorologie. Nous croyons n'avoir pas inutilement augmenté l'excellent ouvrage de *Fischer*, par ce supplément et par les notes et additions que nous y avons insérées et qui ne se trouvent pas dans les éditions précédentes.

Extrait du XII.ᵉ livre de la Mécanique céleste, Tom. V.

Chaque molécule d'un corps, est soumise à l'action de trois forces : 1.° l'attraction des molécules environnantes ; 2.° l'attraction du calorique des mêmes molécules, plus leur attraction sur son calorique ; 3.° la répulsion de son calorique par le calorique de ces molécules. Les deux première forces tendent à rapprocher les molécules entre elles ; la troisième tend à les écarter. Les trois états, *solide*, *liquide* et *gazeux*, dépendent de l'efficacité respective de ces forces. Dans l'état solide, la première force est la plus grande ; l'influence de la figure des molécules est très-considérable, et elles sont unies dans le sens de leur plus grande attraction. L'accroissement du calorique diminue cette influence, en dilatant les corps, et lorsque cet accroissement devient tel que cette influence soit très-petite ou nulle, la seconde force prédomine et le corps prend l'état liquide : les molécules intérieures sont alors mobiles entre elles; mais l'attraction de chaque molécule par les molécules qui l'environnent et par leur calorique, retient leur ensemble dans le même espace, à l'excep-

tion des molécules de la surface que le calorique enlève sous la forme de vapeurs, jusqu'à ce que la pression de ces vapeurs arrête cet effet. Enfin quand, par un nouvel accroissement de calorique, la troisième force l'emporte sur les deux autres, toutes les molécules du liquide, à l'intérieur, comme à la surface, s'écartent entre elles ; le liquide prend subitement un volume et une force expansive très-considérables, et il se dissiperait en vapeurs, s'il n'était pas fortement contenu par les parois du vase ou du tube qui le renferme : c'est à cet état de gaz très-comprimé que M. *Cagnard Latour* a réduit l'eau, l'alcool, l'éther, etc. Dans cet état, les deux premières forces sont encore sensibles ; mais la densité du fluide ne satisfait point à la loi de *Mariotte* ; pour y satisfaire, ainsi qu'à celle de MM. *Dalton et Gay-Lussac* (*), il est nécessaire que le fluide soit réduit à l'état aériforme, dans lequel la troisième force devient la seule sensible (**). Dans cet état, la densité du gaz contenu dans un vase, est partout la même, excepté dans les points très-voisins des parois, à une distance égale ou plus petite que le rayon de la sphère d'activité des forces attractives et répulsives. On doit faire ici une remarque importante : les phénomènes de chaleur que présentent les passages des corps de l'état solide à l'état liquide, et de celui-ci à l'état de vapeurs, ont fait distinguer dans les molécules, deux espèces de chaleur, l'une libre ou sensible au thermomètre, l'autre insensible au thermomètre, ou latente. Une quantité considérable de calorique est absorbée dans ces passages, et devient latente ; mais elle reparaît dans le retour des vapeurs à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état solide. Le calorique absolu d'un corps, est la somme de son calorique libre et de son calorique latent. C'est uniquement au calorique libre ou qui exerce une action sur le thermomètre, qu'il faut attribuer les résultats dont il vient d'être question. M. *Laplace*

(*) Suivant laquelle, sous la même pression, le même volume des divers gaz, se dilate également par un accroissement égal de température.

(**) Ne peut-on pas admettre avec vraisemblance, dit M. *Laplace*, que le calorique des molécules aériennes, exerce sur le calorique des molécules d'un corps réduit en parties très-fines, une force répulsive d'autant plus grande que ces molécules se rapprochent plus de la ténuité des molécules de l'air, ce qui doit contribuer à soulever ces dernières et à les retenir pendant long-temps dans l'atmosphère? N'est-ce pas ainsi que les vapeurs vésiculaires qui forment les nuages (IIIe Part. du suppl.), s'y maintiennent suspendues ?

suppose que les molécules des gaz, sont à une distance telle que leur attraction mutuelle soit insensible, ce qui lui paraît être la propriété caractéristique de ces fluides et même des vapeurs, de celles, du moins, qu'une légère compression ne réduit point, en partie, à l'état liquide : il suppose ensuite que ces molécules retiennent par leur attraction le calorique, et que leur répulsion mutuelle est due à celle des molécules du calorique, répulsion évidemment indiquée par l'accroissement du ressort des gaz, quand leur température augmente : il suppose enfin que cette répulsion n'est sensible qu'à des distances imperceptibles. Toutes ces hypothèses admises, il fait voir que *la pression dans l'intérieur et à la surface d'une sphère formée d'un pareil fluide, est égale au produit du carré du nombre de ses molécules contenues dans un espace donné pris pour unité, par le carré du calorique renfermé dans une quelconque de ses molécules et par un facteur constant.* Ce résultat étant indépendant du rayon de la sphère, il est facile d'en conclure qu'il a lieu, quelque soit le rayon de l'enveloppe qui contient le gaz. Si dans cette expression de la pression du gaz, on substitue au produit du nombre des molécules par le carré du calorique propre à chaque molécule, la fonction de la température, multipliée par un facteur constant, on aura *cette pression proportionnelle au produit de cette fonction par le nombre des molécules de gaz, renfermées dans l'espace pris pour unité.* Cette proportionnalité donne les deux lois générales des gaz. On voit d'abord que *la température restant la même, la pression est proportionnelle au nombre des molécules du gaz, par conséquent, à sa densité,* ce qui est la loi de *Mariotte ;* en second lieu, que *la pression restant la même, ce nombre est réciproque à la fonction de température dont il s'agit, fonction qui a été démontrée indépendante de la nature du gaz ;* d'où résulte la belle loi de MM. *Dalton et Gay-Lussac,* rappelée plus haut. On peut se demander ici, dit M. *Laplace*, ce que l'on doit entendre par le mot *température :* si l'on imagine un espace vide dont l'enveloppe soit partout et constamment à la même température, tous les points de la surface intérieure de cette enveloppe, se renverront réciproquement des rayons caloriques qui rempliront l'espace vide d'un fluide calorique très-rare et mu dans toutes les directions : on prouve facilement que la densité de ce calorique, est la même dans tous les points de l'espace : cette densité croît avec

la température de l'enveloppe ; elle est la fonction de température dont nous venons de parler, et il est naturel de la prendre pour la température elle-même. Sous une pression constante, la densité d'un gaz, étant, comme on l'a vu, réciproque à cette fonction de la température, son volume est proportionnel à cette fonction, et par conséquent à la densité du calorique de l'espace : la température est alors représentée par ce volume, et ses variations sont représentées par celles du volume d'un gaz soumis à un pression constante. Le thermomètre d'air devient ainsi le vrai thermomètre qui doit servir de modèle aux autres, du moins dans les limites de pression et de densité, où ce fluide obéit très-sensiblement aux lois générales des fluides élastiques.

Nous regrettons de ne pouvoir faire connaître les idées de cet illustre géomètre sur le rayonnement : nous nous bornerons à ce qu'il dit dans une note. Dans un état d'immobilité parfaite des molécules du gaz, supposées sphériques, les molécules de leur calorique, seraient pareillement immobiles ; mais cet état mathématiquement possible, me paraît aussi impossible physiquement, que l'équilibre d'une aiguille verticale appuyée sur sa pointe. Dans un fluide aussi mobile qu'un gaz, la plus légère agitation doit troubler l'équilibre des molécules et de leur calorique : alors des parcelles du calorique de chaque molécule, ne doivent-elles pas s'en détacher à chaque instant ? la figure des molécules peut avoir sur leur rayonnement une grande influence.

Dans le mélange de divers gaz qui n'exercent point d'action d'affinité les uns sur les autres, leurs molécules finissent pas être mêlées de manière que la plus petite portion du mélange, renferme chacun de ces gaz dans la même proportion que le mélange entier. Il résulte des formules trouvées par l'auteur, *qu'à températures égales, la pression de ce mélange, est comme pour un gaz simple, proportionnelle à sa densité :* il en résulte encore que *l'accroissement de son volume par un accroissement de température, la pression restant la même, est égal à celui d'un gaz simple.* Enfin *la pression que ce mélange exerce sur les parois, est, à températures égales, la somme des pressions que chacun des gaz exercerait séparement, s'il existait seul dans le même espace.* Cette manière de considérer le mélange dans l'état d'équilibre, peut encore s'étendre à l'état de mouvement. A l'occasion de la vitesse du son, qui est égale au produit de la vitesse que donne la formule newtonienne, par la racine carrée du rapport de la cha-

leur spécifique de l'air, sous une pression constante, a sa chaleur spécifique sous un volume constant, M. *Laplace* observe que la première de ces deux chaleurs spécifiques surpasse la seconde, c'est-à-dire, qu'il faut employer une plus grande quantité de calorique, pour élever d'un dégré la température d'un volume d'air, lorsqu'il reste soumis à la même pression, que lorsqu'il est contenu dans le même espace, et c'est la raison pour laquelle il développe du calorique par le seul effet de la compression. A la distinction des deux espèces de chaleur, l'une libre et l'autre latente, la théorie de l'auteur ajoute celle du calorique retenu dans chaque molécule par l'attraction de cette molécule, et celle de la répulsion de ce calorique par celui des molécules environnantes : la même théorie étend aux molécules des gaz, le rayonnement du calorique admis par les physiciens; mais pour satisfaire aux lois de *Mariotte* et de MM. *Dalton* et *Gay-Lussac*, ce rayonnement doit être proportionnel à la compression que le calorique libre d'une molécule de gaz, éprouve de la force répulsive du calorique libre des molécules qui l'environnent : ainsi il paraît naturel d'admettre cette force répulsive comme la cause du rayonnement des molécules des corps. Au moyen de ces suppositions, les phénomènes de l'expansion de la chaleur et des vibrations des gaz, sont ramenés à des forces attractives et répulsives qui ne sont sensibles qu'à des distances imperceptibles. Nous ne suivrons pas plus loin les idées de cet illustre géomètre, dont nous n'avons pu qu'exposer ici la substance, et qui ne pouvaient trouver place dans le cours de ce traité.

I.er TABLEAU.

Des principales propriétés des corps simples non métalliques.

NOMS.	ÉTAT.	COULEUR.	ODEUR.	SAVEUR.	POIDS SPÉCIFIQUE.	ÉPOQUE DE LA DÉCOUVERTE.	PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES.
Oxigène.....	Gazeux.	Incolore........	Inodore.....	Insipide.....	1,1025.....	En 1774 par Priestley.	Agent indispensable de la combustion et de la respiration : par son union avec certains combustibles, il forme les oxides et une classe d'acides *oxacides*.
Hydrogène..	Id...	Id..........	Id......	Id......	0,0688.....	1766 Cavendish...	Avec l'oxigène constitue l'eau ; avec l'azote, l'ammoniaqne, et avec quelques combustibles une classe d'acides *hydracides* ; il brûle avec une flamme bleuâtre et éteint les corps en ignition.
Azote.......	Id...	Id..........	Un peu fade.	Id......	0,9757.....	1775 Lavoisier....	Avec le carbone, il forme le cyanogène ; par son mélange avec l'oxigène, il forme l'air ; en combinaison, des oxides et des acides.
Chlore......	Id...	Jaune vert......	Très-forte et désagréable.	Très-forte et particulière.	2,4216.....	1774 Scheéle.....	Avec l'hydrogène, il donne l'acide hydro-chlorique ; avec l'oxigène, l'acide chlorique ; avec l'iode et le cyanogène, les acides chloriodique et chloroprussique.
Soufre......	Solide..	Jaune citron....	Par le frottement.....	Insipide.....	1,99.......	De temps immémorial.	Avec les alcalis et les métaux, il forme des fulfures ; avec l'hydrogène et l'oxigène, des acides : électrique par le frottement ; brûlant avec une flamme bleue ; dégageant une odeur suffocante.
Phosphore...	Id...	Blanc..........	Alliacée.....	Un peu âcre.	1,7700.....	1669 Brandt.....	Demi-transparent ; lumineux dans l'obscurité ; brûlant avec une vive lumière ; formant avec l'hydrogène un gaz qui s'allume par le contact de l'air, et avec l'oxigène, des oxides et des acides.
Sélénium....	Id...	Brun obscur.....	Inodore.....	Insipide.....	4,3000.....	Berzelius...	Avec l'oxigène, un oxide et un acide.
Carbone.....	Id...	Noir ; blanc dans le diamant....	Id......	Id......	Peu connu..	Lavoisier...	Absorbe les divers gaz, et contribue ainsi à la désinfection de l'eau et des viandes ; forme avec l'hydrogène un gaz qui brûle avec une vive lumière, et avec l'oxigène un oxide et un acide.
Bore.......	Id....	Brun verdâtre...	Id......	Id......	Plus pesant que l'eau.	1809 Gay-Lussac et Thenard.....	Avec l'oxigène, l'acide borique ; avec le fluor ou le phtore, l'acide fluoborique.
Iode.......	Id...	Bleuâtre.......	Chlorure de soufre......	De chlore...	4,9460.....	1813 Courtois....	Tache la peau en jaune : avec l'oxigène, l'hydrogène et le chlore, il forme trois acides différens.

II.[me] TABLEAU.

Des principales propriétés physiques des substances métalliques.

MÉTAUX rangés d'après leur poids SPÉCIFIQUE.			COULEUR.	MÉTAUX rangés d'après leur DURETÉ.	MÉTAUX ACIDIFIABLES.	MÉTAUX CASSANS.	MÉTAUX rangés d'après leur TÉNACITÉ. (*)		MÉTAUX ductiles et malléables par ORDRE ALPHABÉTIQUE.	MÉTAUX rangés d'après leur facilité A PASSER A LA FILIÈRE.	MÉTAUX rangés d'après leur facilité A PASSER AU LAMINOIR.
Platine....	20,98	....	Blanc tirant sur	Tungstène.	Arsenic.	Antimoine.	Fer....249,659	Sickingen.	Argent.	Or.	Or.
		Brisson....	l'argent.	Palladium.	Molybdène.	Arsenic.	Cuivre.137,309		Cadmium.	Argent.	Argent.
Or.......	19,257	....	Jaune pur.	Manganèse.	Chrôme.	Bismuth.	Platine.124....	Guyt-Morveaux.	Cuivre.	Platine.	Cuivre.
Tungstène.	17,6 à 17,5	D'Elhuyart.	Blanc grisâtre.	Fer.	Tungstène.	Chrôme.	Argent.85,062	Sickingen.	Étain.	Fer.	Étain.
Mercure...	13,568	Brisson....	Blanc d'argent.	Nickel.	Colombium.	Cobalt.	Or....68,216		Fer.	Cuivre.	Platine.
Palladium.	11,3	Wollaston.	Id.	Platine.		Manganèse.	Étain..24,200	Muschenbroeck..	Iridium.	Zinc.	Plomb.
Plomb....	11,352	....	Blanc gris bleuât.	Cuivre.		Molybdène.	Zinc...12,720		Mercure.	Étain.	Zinc.
Argent....	10,4743	Brisson....	Blanc éclatant.	Argent.		Rhodium.			Nickel.	Plomb.	Fer.
Bismuth...	9,822	....	Blanc jaunâtre.	Bismuth.		Tellure.			Or.	Nickel.	Nickel.
Cobalt....	8,5384	Hauy.....	Blanc un peu gris	Or.		Tungstène.			Osmium	(*) Palladium.	(*) Palladium.
Urane.....	9	Bucholz...	Gris foncé.	Zinc.		Urane.			Palladium	(*) Cadmium.	(*) Cadmium.
Cuivre....	8,895	Hatchett...	Jaune rougeâtre.	Antimoine.					Platine.		
Cadmium..	8,60	Stromeyer..	Blanc bleuâtre.	Cobalt.					Plomb.		
Arsenic....	8,308	Bergman...	Blanc grisâtre.	Étain.					Potassium.		
Nickel....	8,279	Richter....	Blanc argentin.	Arsenic.					Sodium.		
Fer.......	7,788	Brisson....	Gris bleuâtre.	Plomb, etc.					Zinc.		
Molybdène	7,400	Hielm.....	Gris foncé.								
Étain.....	7,291	....	Blanc argentin.								
		Brisson....									
Zinc......	6,861	....	Blanc gris bleuât.								
Manganèze.	6,850	Bergman...	Blanc grisâtre.								
Antimoine.	6,7021	Brisson....	Argentin bleuât.								
Tellure....	6,115	Klaproth..	Argentin.								
Sodium...	0,97223	Gay-Lussac	Blanc grisâtre.								
Potassium..	0,86537	et Ténard.	Id.								

(*) Tirés en fil de 2 millimètres de diamètre.

(*) On ne connaît pas encore le rang que doivent occuper ces deux derniers.

III.me TABLEAU.

FUSIBILITÉ DES MÉTAUX.

(THERM. CENTIGRADE.)

Métal	Fusibilité	Auteur	
Mercure	— 39°	Divers chimistes	Fusibles au-dessous de la chaleur rouge.
Potassium	+ 58	Gay-Lussac et Thenard.	
Sodium	+ 90	Gay-Lussac et Thenard.	
Etain	+ 210	Newton	
Bismuth	+ 256	Newton	
Plomb	+ 260	Biot	
Tellure	Un peu moins fusible que le plomb.	Klaproth	
Arsenic	Indéterminé		
Zinc	+ 370	Brongniart	
Antimoine	Un peu au-dessous de la chaleur rouge.		
Cadmium		Stromeyer	

Pyromètre de Wedgwood.

Métal	Fusibilité	Auteur	
Argent	20	Kennedy	Infusibles au-dessous de la chaleur rouge.
Cuivre	27	Wedgwood	
Or	32	Wedgwood	
Cobalt	Un peu moins difficile à fondre que le fer.		
Fer	130	Wedgwood	
	158	Makensie	
Manganèse	160	Guyt. de Morveaux	
Nickel	Comme le manganèse	Richter	
Palladium, Molybdène, Urane, Tungstène, Chrôme	Presqu'infusibles au feu de forge, fusibles au chalumeau alimenté par un courant d'oxigène et d'hydrogène		
Titane, Cerium, Osmium, Iridium, Rhodium, Platine, Colombium	Infusibles au feu de forge; fusibles au chalumeau alimenté d'oxigène et d'hydrogène		

DÉCOUVERTE DES MÉTAUX.

NOMS DES MÉTAUX.	AUTEURS DE LA DÉCOUVERTE.	ÉPOQUE de la découverte.
Or, Argent, Fer, Cuivre, Mercure, Plomb, Etain	Connus de toute antiquité.	
Zinc	Indiqué par Paracelse	1541
Bismuth	Traité d'Agricola	1520
Antimoine	Basile Valentin	15.e siècle.
Arsenic, Cobalt	Brandt	1733
Platine	Wood, Essayeur à la Jamaïque	1741
Nickel	Cronstedt	1751
Manganèse	Gahn et Scheéle	1744
Tungstène	Delhuyart	1781
Tellure	Muller de Reichenstein	1782
Molybdène	Constaté par Hielm	1782
Titane	Gregor	1781
Urane	Klaproth	1789
Chrone	Vauquelin	1797
Colombium	Hatchett	1802
Palladium, Rhodium	Wollaston	1803
Iridium	Descotils	1803
Osmium	Tennant	1803
Cerium	Hisinger et Berzelius	1804
Potassium, Sodium	Davy	1807
Barium, Strontium, Calcium	Indiqués par Davy	1807
Cadmium	Hermann ou Stromeyer	1818
Lithium	Arfwedson	1818

DES MÉTÉORES.

De la rosée.

Voyons d'abord quelles sont les circonstances favorables et quelles sont les circonstances contraires à la production de la rosée. La rosée ne se dépose en grande quantité que pendant les nuits calmes et sereines; il paraît bien constaté qu'il ne s'en produit jamais sous l'influence du vent et d'un ciel couvert, même dans les nuits également calmes et sereines : tout ce qui augmente l'humidité de l'air, paraît aussi favoriser la production de la rosée. La réunion des circonstances les plus favorables, se trouve plus souvent au printemps et surtout en automne qu'en été. La rosée sous un ciel pur, se forme pendant toute la durée de la nuit : elle est moins abondante entre le coucher du soleil et minuit, qu'entre minuit et le lever de cet astre. Les métaux polis ne se couvrent pas en général de rosée; cette inaptitude se communique aux corps qui reposent sur leur surface. Ainsi un morceau de papier exposé à un ciel serein, posé sur une lame métallique, se chargera de moins d'humidité que s'il était placé sur une lame de verre. Tous les métaux ne résistent pas également à la formation de la rosée : par exemple, on voit quelquefois le platine, le fer, l'acier, le zinc et le plomb couverts de rosée, tandis que l'or, l'argent, le cuivre et l'étain placés dans les mêmes circonstances, se conservent parfaitement secs. L'état mécanique des corps influe sur la quantité de rosée dont ils se mouillent : en général, la division des substances est propre à l'attirer. Dix grains de laine placés sous une planche, augmentent en une nuit de 9 grains en poids, tandis qu'un égal poids de la même laine, placé sur l'herbe, et à découvert, se charge de 15 grains de rosée : on pourrait croire d'après cela que la rosée tombe comme la pluie; mais le docteur *Wels* a prouvé le contraire par des expériences. La formation de la rosée est toujours accompagnée de froid; la température de l'herbe et de tous les corps qui se couvrent de rosée, est plus basse que celle de l'air environnant. C'est ce que le docteur *Wels* a reconnu au moyen de thermomètres placés près du sol et à différentes hauteurs : cette différence se remarque près du coucher du soleil et elle a lieu jusqu'après son

lever : elle n'a plus lieu dans les nuits sombres. Si, pendant une nuit sereine, un nuage passe au zénith, la température de l'herbe monte aussitôt, tandis que celle de l'air ne change pas sensiblement. La température des métaux descend rarement de 1° à 2° au-dessous de celle de l'air ambiant. Il résulte des expériences précises et variées du docteur *Wels*, que le refroidissement des corps précède toujours l'apparition de la rosée, qu'on doit regarder comme conséquence et non comme cause du refroidissement des corps sur lesquels elle se dépose : s'il n'en était pas ainsi, tous les corps devraient s'en couvrir et se refroidir également : or, l'observation prouve le contraire, puisque, comme nous l'avons dit, la température des métaux ne s'abaisse que de 2° au-dessous de celle de l'atmosphère, tandis que l'abaissement du papier, du verre, des matières organiques, va quelquefois jusqu'à 8°. La cause de ce refroidissement inégal, est, d'après *Wels, le rayonnement de la chaleur :* plus cette faculté rayonnante des corps est grande, plus le refroidissement est considérable, en sorte que toutes les circonstances qui tendent à augmenter le rayonnement, augmente le froid produit, et par suite le dépôt de la rosée : ainsi, sous un ciel pur, la chaleur lancée vers les regions supérieures, se perd dans l'espace et la rosée se forme en abondance : sous un ciel couvert, les nuages compensent par leur rayonnement propre et par leur réflexion, la chaleur perdue par les corps placés à la surface de la terre : c'est par cette raison qu'il ne se dépose pas de rosée sous les arbres et près des grands édifices. Le refroidissement des feuilles, en vertu duquel elles se couvrent d'eau, peut être porté à tel point que cette eau se congèle : ce phénomène constitue les gelées blanches. On conçoit, d'après ce qui vient d'être dit, comment les vents qui s'élèvent pendant la formation de la rosée, en arrêtent ou en retardent les progrès, en amenant de nouvelles couches d'air chaud qui cèdent aux corps terrestres une portion de leur chaleur propre et les empêchent de se refroidir : d'un autre côté, ce renouvellement de l'air, en accélérant l'évaporation, doit être contraire à la formation de la rosée. M. l'astronome *Flaugergues* qui a enrichi la physique de plusieurs faits curieux et de recherches intéressantes, a inventé un instrument nommé *Drosomètre*, propre à donner la mesure de la quantité de rosée qui se précipite dans une nuit : ce physicien ayant recueilli au moyen de cet instrument et pesé l'eau de la rosée

pendant le courant de l'an 1823, a trouvé qu'elle était de 3 lignes, et qu'il était tombé dans la même année 152,5 fois plus de pluie que de rosée : que le mois où il est tombé le moins de rosée, est celui de mars, et que celui pendant lequel il en est tombé le plus, est le mois d'octobre.

Tout le monde a remarqué que lorsque l'air extérieur se refroidit la nuit, les vitres des fenêtres se couvrent intérieurement d'humidité ; cette eau s'est précipitée de la portion d'air intérieur refroidi par son contact avec le carreau. Le refroidissement venant à continuer, cette eau se convertit en glace, en suivant les lois d'affinité qui lui font prendre des formes particulières. Telle est l'origine de ces ramifications cristallines, appellées *givre,* qu'on voit sur les vitres, le matin des jours froids. Voici maintenant ce qu'a observé M. *Prevost :* si sur la surface de l'un des carreaux et du côté de l'air froid, on colle ou on fixe une lame de métal poli, il ne se déposera que peu ou point d'humidité sur la partie du carreau, en contact avec l'air chaud, et qui correspond à l'armure métallique; tandis que le reste sera couverte de rosée : cela vient de ce que la lame métallique placée sur la surface contiguë à l'air froid, réfléchit vers l'intérieur toute la chaleur qui tend à s'échapper et empêche ainsi cette portion du carreau de se refroidir. Le contraire arrive si l'armure métallique est appliquée sur la surface contiguë à l'air chaud.

Pendant tout le temps que le froid a duré, le murailles se sont refroidies : lorsqu'arrive le dégel, elles enlèvent du calorique à l'air ambiant; l'eau qui s'en précipite se dépose sur la paroi et la mouille. Le soleil ne pénétrant pas dans l'intérieur des forêts, lorsque l'air des environs dont la température est plus élevée, vient à y pénétrer, cet air se refroidit et lâche une partie de son eau. Telle est l'origine d'un grand nombre de sources qui ont disparu dans beaucoup de lieux où l'on a détruit les forêts.

2.° *De l'ascension et de l'abaissement des nuages.*

L'histoire de l'évaporation nous a appris qu'à une température donnée, un espace limité n'admet qu'une quantité limitée de vapeur, et qu'aussitôt qu'on diminue l'espace ou la température, la vapeur se condense et s'offre à nos regards sous différens états. Suivant *Saussure,* la vapeur au moment où elle se précipite de l'air, se transforme

en petites sphères creuses et remplies d'air, qu'on a désignées sous le nom de *vésicules* : ce physicien les a examinées à l'aide d'une lentille, et il a reconnu qu'elles étaient sphériques : il les a vues flotter et voltiger dans l'air. Quelques physiciens nient l'existence de ces globules. M. *Fresnel* a donné récemment une explication de l'ascension des nuages, indépendante de la constitution des globules d'eau ou de vapeur vésiculaire dont se composent les nuages, et qui est également applicable au cas où un nuage serait composé d'un assemblage de cristaux de neige extrêmement déliés, comme cela peut avoir lieu dans les hautes régions de l'atmosphère : ce physicien fonde son explication sur la propriété dont jouissent l'air et les autres gaz de laisser passer les rayons solaires et même le calorique rayonnant sans s'échauffer ; ensorte que, pour les échauffer, il faut le contact des corps solides ou liquides échauffés eux-mêmes par ces rayons lumineux ou calorifiques. Cela posé, si un nuage est formé par des globules d'eau, ou de cristaux de glace très-déliés, ces globules ou cristaux s'échaufferont par les rayons solaires et éléveront ensuite la température de l'air avec lequel ils sont mélangés ; de sorte qu'on conçoit que l'air contenu dans l'intérieur du nuage, ou très-voisin de sa surface, sera plus léger que l'air ambiant ; et lorsque le poids total du nuage, sera spécifiquement moindre que celui d'un égal volume d'air environnant, le nuage s'élévera. L'air de l'intérieur du nuage doit sans doute se dégager peu-à-peu, mais avec lenteur, à cause de la petitesse des intervalles entre les globules, et ce mouvement ascensionnel de l'air intérieur, tend encore à favoriser le phénomène. Pendant la nuit, le nuage étant privé des rayons solaires, la température doit diminuer, et l'on conçoit que s'il a beaucoup d'épaisseur, cette diminution sera lente ; d'ailleurs il continue à recevoir les rayons calorifiques envoyés par la terre, ce qui contribue à retarder son refroidissement. Au reste, on remarque généralement qu'après le coucher du soleil, les nuages s'abaissent sensiblement, ce qui est conforme à la théorie actuelle.

En admettant la vapeur vésiculaire qui paraît hors de doute, on peut concevoir sa suspension dans l'air par les considérations suivantes : 1.° l'air contenu dans les vésicules, est spécifiquement plus léger que celui qui entoure le nuage : 2.° l'air interposé entre les vésicules, est au maximum d'humidité, et doit produire un courant

ascensionnel propre à soutenir l'ensemble du nuage dans l'atmosphère : 3.° enfin les nuages peuvent être considérés comme des écrans qui reçoivent et retiennent le calorique rayonnant du soleil pendant le jour et celui de la terre pendant la nuit ; ensorte qu'en général leur température doit être supérieure à celle de l'atmosphère qui les entoure, ce qui doit accroître leur légèreté spécifique et déterminer leur élévation, à moins que le sol ne soit très-refroidi pendant la nuit, auquel cas, il y a abaissement. Voici l'opinion de M. *Laplace* (Méc. Cel. tom. V, pag. 93, note, et Physique de *Fischer*, pag. 446, note). Ne peut-on pas admettre avec vraisemblance que le calorique des molécules aériennes exerce sur le calorique des molécules d'un corps réduit en parties très-fines, une force répulsive d'autant plus grande que ces molécules se rapprochent plus de la ténuité des molécules de l'air, ce qui doit contribuer à soulever ces parties et à les retenir pendant long-temps dans l'atmosphère ? n'est-ce pas ainsi que les vapeurs vésiculaires qui forment les nuages, s'y maintiennent suspendues ?

3.° *De la Foudre.*

Ce qu'on appelle la *foudre* est l'écoulement subit à travers l'air, sous la forme d'un grand trait lumineux, de la matière électrique dont était chargé un nuage orageux. La vitesse de la matière électrique en mouvement est immense ; elle surpasse de beaucoup celle d'un boulet au sortir du canon, qu'on sait être d'environ 600 mètres (1800 pieds français) par seconde. Les molécules de la matière électrique sont douées d'une force répulsive en vertu de laquelle elles tendent à se fuir et à se répandre dans l'espace ; elles n'ont aucune affinité pour les corps ; elles se portent en totalité vers leur surface où elles forment une couche très-mince, terminée par la surface même des corps, et où elles sont retenues par la pression de l'air, contre laquelle elles réagissent à leur tour : lorsque cette dernière pression est devenue supérieure à la première, la matière électrique s'échappe dans l'air ou en un torrent invisible, ou sous la forme d'un trait lumineux que l'on désigne par le nom *d'éclair* qui n'est que l'étincelle électrique. Avant que la foudre éclate, le nuage orageux par son influence, fait sortir de leur état naturel tous les corps placés au-dessous de lui, à la surface de la terre ; il attire vers leur partie antérieure la matière électrique de nature contraire à la sienne,

et repousse dans le sol, celle de même nature. Chaque corps est ainsi dans un état d'intumescence électrique et devient à son tour un centre d'attraction vers lequel la foudre tend à se porter, et c'est celui par lequel passe la résultante de ces attractions particulières, qu'elle frappe lorsqu'elle tombe. Pour que la matière électrique développée sur un corps par l'influence de celle du nuage orageux, parvienne rapidement à son *maximum*, et par conséquent pour qu'il en soit de même de sa force attractive, il est indispensable qu'il soit bon conducteur, et en parfaite communication avec un sol humide. La matière électrique développée dans les corps à la surface de la terre, par l'influence du nuage orageux, s'y accumule peu à peu, à mesure que le nuage s'approche de leur zénith, et diminue de même à mesure qu'il s'en éloigne. Un homme, supposé l'un de ces corps, n'éprouverait aucune sensation particulière de cette variation progressive de matière électrique, quoique pouvant être fortement électrisé; mais si le nuage se déchargeait instantanément, il pourrait recevoir, sans être frappé de la foudre, par la rentrée subite de sa matière électrique dans le sol, une très-vive commotion qui pourrait être assez forte pour le faire périr : c'est le phénomène connu sous le nom de *choc en retour*. M. *Hauy* explique autrement ce phénomène : soit un nuage chargé d'électricité vitrée, par exemple, et un homme placé dans la sphère d'activité de ce nuage : le fluide vitré de cet homme sera repoussé vers le sol par la répulsion de celui du nuage, ensorte qu'il sera à l'état d'électricité résineuse. Que dans ce moment, le nuage se décharge ; le fluide vitré repassera dans le corps de l'homme avec une rapidité telle qu'il pourra en périr. Dans cette dernière explication, c'est la rentrée d'un des fluides dans le corps de l'individu, qui cause sa mort; dans la première, c'est son passage subit du corps dans le sol, ce qui équivaut à une décharge violente. Dans un moment où un objet est prêt à être frappé de la foudre, il est si fortement électrisé par l'influence du nuage orageux, s'il est en parfaite communication avec un sol humide, que sa matière électrique peut s'élancer au-devant de celle du nuage, et faire une partie du chemin entre le nuage et l'objet. C'est sans doute ce qui a fait penser à quelques personnes qui croient en avoir fait l'observation, que la foudre au lieu de tomber des cieux sur la terre, s'élève quelquefois de la terre dans les cieux : mais cette opinion ne vaut pas la peine

d'être discutée. C'est par la chaleur qui est propre à la foudre, et par celle qu'elle dégage de l'air ou des corps qu'elle traverse avec une excessive rapidité, en les refoulant, qu'elle met le feu à toutes les matières tenues susceptibles d'une prompte inflammation, comme le foin, la paille, etc. : il est plus rare de la voir enflammer des matières compactes, telles que les bois, à moins qu'ils ne soient vermoulus, soit qu'elle les déchire ou qu'elle glisse sur leur surface, parce que son action est trop instantanée. C'est ainsi qu'on peut concevoir que la foudre enflamme les vêtemens légers, les cheveux d'un individu sur le corps duquel elle glisse, sans pourtant lui causer aucun mal : c'est encore par une cause semblable qu'elle dissipe en vapeur la dorure des lambris dorés sans les enflammer. La foudre fait périr les animaux, soit en lésant les organes et le système vasculaire (ensemble des vaisseaux sanguins) et en paralysant le système nerveux : leur putréfaction s'opère très-promptement, mais de la même manière que celle de tous les animaux frappés d'une mort subite quelconque. L'acescence du lait et la corruption des chairs, plus promptes par des temps d'orage que dans des temps ordinaires, doivent être attribuées d'une part à la température élevée qui règne alors, et de l'autre aux courans de matière électrique, auxquels ces corps sont exposés, et qu'on sait être un agent puissant de décomposition. Les nuages peuvent être électrisés par la vaporisation de l'eau qui suffit pour constituer dans des états électriques différens, la masse d'eau qui s'évapore et la vapeur produite qui passe ensuite à l'état vésiculaire; d'ailleurs les différens points du globe où ces vapeurs ont pris naissance, peuvent, à raison des courans électriques autour du globe, se trouver dans des états électriques différens. Quoiqu'il en soit de la cause de ce phénomène, lorsqu'un nuage chargé d'électricité vitrée, par exemple, s'approche d'un autre nuage à l'état naturel, il agira sur lui par influence, et il en pourra résulter une étincelle ou un éclair, et ce bruit nommé *tonnerre*. Si deux nuages chargés d'électricité contraire, viennent à s'approcher, les mêmes phénomènes se produisent à plus forte raison : ils se repoussent, si les électricités sont semblables. Les phénomènes électriques qui se passent entre les nuages, ne produisent pas toujours le bruit et le trait lumineux qui constituent la foudre : on aperçoit souvent, lorsque la température est élevée, des scintillations plus ou moins brillantes que l'on nomme vulgairement *éclairs de chaleur*, et qui ne sont accompagnées

d'aucun bruit : ce sont très-probablement des irradiations de quelques nuages isolés et surchargés d'électricité, phénomène analogue à ceux que présentent nos conducteurs électriques, quand ils se trouvent dans cette situation. L'eau liquide étant un bon conducteur, on conçoit que les pluies abondantes qui accompagnent les orages, les font complètement cesser, en rétablissant l'équilibre électrique entre le sol et les nuages.

Monge a donné l'explication suivante du bruit du tonnerre. La formation subite du nuage orageux, est due, suivant lui, à la condensation de la vapeur aqueuse : il en résulte par conséquent un vide dans la partie de l'atmosphère où elle a lieu : alors les couches environnantes se précipitent dans ce vide, et comme elles s'entrechoquent avec violence, il en résulte un bruit plus ou moins fort. Les couches latérales de l'atmosphère, qui ont fourni l'air pour remplir ce vide, se dilatent, prennent du calorique à la vapeur en contact et la font repasser à l'état d'eau : il se forme ainsi un nouveau vide qui, en se remplissant comme le premier, donne lieu à un second coup et ainsi de proche en proche. Tel est, dit-il, la cause de ce bruit roulant encore augmenté par les échos.

Suivant M. *Dutertre,* lorsque deux masses de fluides électriques, provenant de gros nuages électrisés différemment, se précipitent l'une vers l'autre, elles balayent, pour ainsi dire, devant elles les différentes substances qui s'y rencontrent; ces substances par leur réunion, forment une sorte de disque sur chaque côté duquel se touve une certaine quantité de fluides électriques d'espèces différentes, et ce disque se déchargeant par des détonnations successives, produit la foudre. On a reconnu qu'un orage pouvait parcourir huit, seize et même vingt-quatre milles géographiques par heure.

Dans les fameuses expériences de *Romas,* assesseur au présidial de Nérac (France), et dans les expériences plus récentes du physicien *Charles,* qui consistaient à élever un cerf-volant sous un nuage orageux, la corde du cerf-volant, autour de laquelle était enroulé un fil métallique, et qui était terminée par un cordon de soie, amenait à la surface de la terre un courant électrique si considérable, qu'il en était effrayant et qu'il eût été très-imprudent de s'y exposer. Dans une des expériences de *Romas*, faite le 28 août 1756, la quantité de matière électrique que le cerf-volant tira des nuées, fut réellement éton-

nante : on en vit sortir des courans de feu, d'un pouce d'épaisseur et de dix pieds de longueur; elle fut conduite par la corde à un conducteur placé tout auprès, et le bruit en fut égal à celui d'un pistolet. Dans une autre expérience, il se fit trois explosions dont le bruit ressemblait fort à celui du tonnerre ; on le compara à celle des fusées volantes, et il est certain qu'on l'entendit du milieu de la ville. *Charles* qui a fait des expériences de ce genre, mais en plus grand nombre, a obtenu quelquefois des effets plus extraordinaires encore, et il ne doutait pas, comme il le disait, qu'il n'eut désarmé le nuage orageux. Les dangers de pareilles expériences sont si évidens, même en supposant toutes les précautions possibles, qu'elles ne peuvent être tentées que par ceux chez qui la curiosité triomphe de la crainte. Plusieurs physiciens, renversés par les commotions qu'ils reçurent en tirant des étincelles d'un appareil qui communiquait avec l'intérieur de leur appartement, ont eu à se repentir de s'être donné un hôte si redoutable, on peut même dire, si brutal. Le célèbre *Richman*, professeur de physique à Pétersbourg, y perdit la vie dans une circonstance qui semblait faite pour rendre la leçon plus frappante ; il fut renversé à côté de l'appareil même qu'il avait disposé pour mesurer la force de l'électricité des nuages. Ainsi les sciences ont aussi leurs victimes. On ne peut douter d'après ces observations que des paratonnerres bien conditionnés, placés sur des tours élevées, ne soutirent une grande quantité de la matière électrique des nuages orageux et ne préviennent même la chute du tonnerre. Il est même permis de croire que de semblables appareils, étant très-multipliés sur la surface entière d'un pays, préviendraient aussi la formation de la grêle qui, suivant les observations de *Volta*, paraît être un véritable phénomène électrique. Parmi les physiciens, les uns ont regardé les avantages des paratonnerres comme incontestables ; d'autres ont pensé que leur action devait être trop faible pour protéger l'édifice qui les portait : c'était, disaient-ils, vouloir détourner au moyen d'un simple tube, un grand fleuve prêt à se déborder : quelques-uns même ont prétendu que les paratonnerres étaient plus propres à provoquer la chûte de la foudre sur le bâtiment, qu'à l'empêcher. Mais on ne peut plus douter de l'utilité de cet instrument qui ne se borne pas à soutirer en silence le fluide électrique ; mais, qui, lorsque tout annonce une explosion prochaine, se présente pour la recevoir et déterminer le

fluide à suivre la route tracée d'avance par le physicien, à côté de l'édifice qui en est quitte pour un ébranlement plus ou moins considérable. Voyez un écrit ayant pour titre : *Instruction sur les paratonnerres, adoptée par l'Académie Royale des sciences de Paris et publiée par ordre du ministre de l'intérieur.*

Dans les campagnes et souvent même dans les villes, on sonne les cloches aux approches d'un orage, pour écarter et fendre, dit-on, la nuée orageuse : on cherche aussi un abri contre la foudre dans les églises et dans les clochers: mais des faits malheureusement trop repétés et qui sont en pure perte, prouvent que ces habitudes ont les suites les plus funestes.

Dans un paratonnerre en parfaite communication avec le sol, et terminé en une pointe très-aiguë, la matière électrique peut s'accumuler tellement à cette pointe, sous l'influence du nuage orageux, qu'elle ne puisse plus y être retenue par la pression de l'air, et qu'elle s'en échappe en un torrent continu qui, quelquefois, devient sensible dans l'obscurité par une aigrette lumineuse à l'extrémité de la pointe, et qui doit neutraliser, en partie, la matière électrique du nuage. Ces feux paraissent plus fréquemment en mer sur les bâtimens, et y sont connus sous les noms de *Feux Saint-Elme, Castor et Pollux*, etc. Pendant de très-fortes tempêtes, on en a vu quelquefois, à l'une des extrémités de la grande vergue, sous la forme d'une langue de feu qui pétillait beaucoup, et qui, de temps en temps, faisait entendre des éclats à la manière des pétards (*).

---

(1) Voyez les lettres CL, CLI, CLII, CLIII et CLIV, du célèbre *Euler* à une princesse d'Allemagne : dans la dernière et après avoir parlé d'un moyen employé par un certain *Procopius Divisch*, pour détourner les orages, il dit : *Quand même la chose réussirait, il y a cependant bien des personnes qui douteraient qu'il fut permis de se servir d'un tel remède : en effet, les anciens païens auraient regardé comme un impie celui qui aurait entrepris d'arrêter Jupiter dans le maniement de ses foudres : les chrétiens qui sont assurés que la foudre est un ouvrage de Dieu, et que la divine providence s'en sert souvent pour punir la méchanceté des hommes, pourraient également dire que c'est une impiété de vouloir s'opposer à la justice divine. Cependant*, ajoute-t-il, *personne ne s'avisera de nous imposer la loi de ne pas éteindre les incendies, de n'opposer aucune digue à une inondation, etc.*, et j'ajouterai, de ne pas chercher à nous préserver de la petite vérole par la

4.° *Rapport de l'électricité avec la pluie et la grêle. De la neige.*

Les deux premiers météores ont des rapports tellement intimes avec l'électricité que plusieurs physiciens pensent qu'elle en est la cause principale. Les vapeurs aqueuses transportées dans les hautes régions de l'atmosphère, se constituent en vapeur vésiculaire qui forme les nuages. On peut admettre que l'état électrique de cette vapeur vésiculaire, est une des principales causes qui écartent ses molécules; en sorte qu'au moment du contact avec un autre nuage, ou d'une communication libre avec le sol, les particules d'eau se rapprochent tout-à-coup, et forment les gouttes qui produisent la pluie. Dans tous les cas, il est certain que les étincelles électriques qui constituent la foudre, déterminent, comme nous l'avons dit, la résolution des nuages en liquide. Il faut aussi remarquer que la pluie qui tombe ainsi, est chargée d'électricité vitrée qui devient sensible dans un paratonnerre isolé. Quant à la formation des pluies ordinaires, les physiciens l'expliquent ainsi. Soient deux masses d'air saturées à des températures inégales : en vertu de la loi du rapide accroissement de la force élastique des vapeurs, l'espace sera sursaturé, et laissera précipiter une partie de l'eau qu'il contient. Comme les courans d'air dans l'atmosphère sont continuels, un semblable mélange peut se rencontrer fréquemment.

La grêle se compose de masses glaciales arrondies et dont le volume varie : on peut concevoir que la température très-basse des hautes régions de l'atmosphère, donne lieu à la solidification de l'eau. Pour comprendre comment les grains de grêle peuvent s'accroître et parvenir à un assez gros volume, il faut admettre que les gouttes d'eau qui se solidifient, se trouvant interceptées entre deux nuages différemment électrisés, en sont alternativement attirées et repoussées : en parcourant ainsi l'intervalle qui sépare ces nuages, elles se grossissent de la vapeur d'eau qu'elles rencontrent et qui se solidifie par couche autour du noyau précédemment formé, jusqu'à ce que le poids absolu du glaçon, l'emportant sur les attractions électriques, le fasse

---

vaccine; à neutraliser autant qu'il est possible, le mal moral provenant de la médisance et de la calomnie, etc., etc.

tomber en chute libre vers la terre. Ce qui fortifie cette hypothèse, c'est que les grêlons ne deviennent très-gros que pendant les orages très-violens. On peut comparer ce qui se passe ici au phénomène qu'offre l'appareil qui porte le nom de *grêle électrique*. Si ces glaçons en tombant rencontrent des couches d'air chaud, ils pourront se changer en pluie. Nous avons rapporté plus haut l'opinion de *Volta* sur la formation de ce météore.

Souvent et presque ordinairement, les orages embrassent une étendue considérable, et cependant la grêle ne tombe que dans des limites très-resserrées, comme, par exemple, dans l'étendue d'une demi-lieue; mais toujours dans la direction que suit le vent, telle que celle des vallées. Ne peut-on pas conclure de ce fait que la grêle ne se forme que dans les courans d'air. Au reste, il est à regretter que nous soyons encore si peu éclairés sur la théorie du vent dont l'action jointe à celle de l'électricité, doit résoudre la question de la formation de la grêle. A cette occasion, nous dirons qu'un *paragrêle* se compose d'une très-grande perche armée à son extrémité supérieure d'une verge en laiton, de laquelle part une corde formée de paille de froment ou de seigle, renfermant dans son centre un cordon de lin écru, enroulé autour de la perche, en pénétrant avec elle dans la terre : ce n'est, comme on voit, qu'un paratonnerre d'une conductibilité imparfaite qui en soutirant l'électricité, empêche la formation de la grêle. De semblables appareils placés de distance en distance dans les lieux élevés et même à la cime des arbres, paraissent propres à prévenir ou à diminuer les désastres produits par ce météore. La question des paragrèles a fait beaucoup de bruit en Italie; elle a attiré l'attention du célèbre *Volta*, et a occasionné un volumineux échange d'argumens et une forte grèle d'injures entre les physiciens du second ordre.

Lorsque la température de l'air, en s'abaissant, est arrivée au dégré de la congélation, les gouttes d'eau qui résultent de la condensation des vésicules dont sont formés les nuages, se convertissent en neige, et forment par leur réunion des étoiles à six rayons, si la cristallisation s'opère au milieu d'un air calme; il ne se forme que des flocons irréguliers, si l'air est agité. Cette transformation de la vapeur vésiculaire, est soumise à une multitude de causes et d'influences qu'il est très-difficile de bien apprécier, qui ne sont encore que fort incomplète-

ment connues, mais qui paraissent principalement tenir à des états électriques. Si l'on dispose à la surface de la neige, des morceaux d'étoffe blanche, et des morceaux d'étoffe noire, la neige ne se fondra pas sous l'étoffe blanche qui réfléchit les rayons du calorique; elle fondra très-sensiblement sous l'étoffe noire qui les absorbe. Aussi les montagnards sont-ils dans l'usage de répandre des terres noires sur la neige, pour en hâter la fonte.

M. *Zimmerman*, professeur de chimie à Giessen, annonce un fait bien étonnant : ce chimiste dit avoir trouvé dans la rosée, la pluie, la grêle et la neige, du fer météorique et du nickel : il ajoute qu'il a découvert dans l'eau de pluie, entre divers sels, une substance organique composée d'hydrogène, d'oxigène et de carbone, qu'il nomme *Pyrine*. Ces observations ont besoin d'être confirmées par celles de plusieurs autres chimistes.

5.° *Des Vents.*

Le soleil et la lune exercent sur la partie liquide du globe, des influences attractives très-prononcées qui élèvent l'Océan dans les points qui correspondent momentanément à ces astres, pour le laisser retomber ensuite, ce qui produit le phénomène des *marées*. L'atmosphère doit être également sujette aux mêmes influences, et présenter un *flux* et un reflux journaliers, dont M. *de Laplace* trouve l'indice et la mesure dans les mouvemens diurnes du baromètre. Il n'est donc pas extraordinaire que l'atmosphère soit sans cesse agitée dans une foule de directions et avec des vitesses très-variables : on donne le nom de *vents accidentels* ou *irréguliers* à ces sortes de mouvemens de l'air sur lesquels influent encore beaucoup d'autres causes très-variables. Il existe néanmoins à la surface du globe, entre les deux tropiques, des courans très-réguliers qui portent le nom de *vents généraux*, ou *alisés* et dont il est possible de se rendre un compte satisfaisant. En effet, la partie de la surface de la terre, comprise entre les deux tropiques, est plus directement exposée qu'aucune autre aux rayons du soleil, elle en est même assez fortement échauffée pour conserver une température élevée pendant la durée des nuits. La partie de l'atmosphère, qui répond à cette zone, doit donc être dilatée et rendue spécifiquement plus légère; conséquemment elle doit s'élever et se trouver remplacée par de l'air ambiant plus froid et plus dense ou plus pesant;

cet air raréfié doit s'écouler des deux côtés vers les pôles, tandis qu'un air frais qui afflue en-dessous, de ces mêmes pôles vers l'équateur, vient le remplacer. Si l'on observe que la même cause continue à agir, on concevra facilement qu'il doit se former dans chacun des deux hémisphères, deux courans l'un supérieur qui va de l'équateur vers les pôles, l'autre inférieur qui de chaque pôle afflue vers l'équateur. Ce dernier est, en effet, très-sensible dans les latitudes situées au-delà des tropiques : mais une autre influence importante vient modifier ce premier effet. La totalité de l'atmosphère participe du mouvement de rotation de la terre, de l'ouest à l'est, dont la vitesse pour chaque point de la surface, est proportionelle à la distance de ce point à l'axe de rotation; en sorte que, par exemple, la partie de l'atmosphère, située au 60.e dégré de latitude, doit avoir une vitesse de rotation moitié de celle qui répond à l'équateur. Or, quand l'air qui occupait précédemment le 60e dégré, arrive à l'équateur, il n'a plus alors la même vitesse que celle des points de l'équateur; et par conséquent un spectateur placé sur ce cercle, frappera ce courant avec l'excès de sa vitesse; mais comme ce spectateur se croit immobile, il croira recevoir l'impression d'un vent d'est. Ce sera le contraire par rapport au courant supérieur; mais ici de la supériorité de vitesse du courant affluent, résulte un vent d'ouest réel, tandis que le vent inférieur n'est qu'une simple apparence, mais qui produit une illusion complète.

Les *vents périodiques, moussons,* soufflent dans une certaine direction pendant deux mois, et sont suivis de vents contraires d'une égale durée. Les autres sont nommés *vents irréguliers :* ce sont les vents les plus ordinaires dans les zones tempérées.

Les mouvemens dont l'air peut être animé en vertu des causes que nous avons indiquées, produisent des vents dont les vitesses variables forment un des principaux caractères et leur ont fait donner les noms de *vents doux, vents vifs, vents violens*, et enfin d'*ouragans*. Cette vitesse peut être extrêmement petite, en sorte que les mouvemens de l'air soient à peine sensibles; elle peut être de 3 à 4 mètres par seconde, et le vent est déjà vif; lorsqu'elle est de 40 ou 50 mètres par seconde, elle produit un ouragan : il paraît même que, dans ces circonstances désastreuses, la vitesse du vent a quelquefois été beaucoup plus considérable. M. *Kraaf* qui a fait à Pétersbourg des observations sur cette vitesse, dit l'avoir trouvée une fois de 35,4 mètres; une autre

fois de 39 mètres par seconde. La ligne qu'a suivi le vent tempêtueux qui a occasionné la dernière inondation de Pétersbourg, offre un développement de près de 400 lieues, que l'ouragan aurait, dit-on, parcouru en quelques minutes ; ce qui peut-être est exagéré. On aurait peine à concevoir les terribles effets des ouragans, si l'on n'avait une idée précise de la grande masse de l'atmosphère, du poids considérable de l'air et de la vitesse dont nous venons de parler.

Les dernières inondations de Christiania et de St-Pétersbourg s'expliquent très simplement par leur position topographique et l'effet de l'ouragan. Sans entrer dans les détails des désastres causés en Hollande par les dernières tempêtes, et des inondations qui en ont été la suite, nous nous bornerons à dire qu'il est peut-être sans exemple, du moins dans les annales de la météorologie, que sur six marées successives, il s'en soit trouvé cinq de tempêtes dont une ait atteint une hauteur aussi extraordinaire que celle dont il est fait mention (Algem. konst en letter-bode, 18 fevr. 1825), hauteur dont il n'est point non plus d'exemple en Zélande. A l'occasion de ces refoulemens des eaux par le vent, nous citerons le fait suivant qui paraît bien extraordinaire et dont malheureusement M. le baron *de Zach* (*), auquel il est emprunté, n'indique pas la source. On sait que le fleuve de *Rio de la Plata* se déborde à certaines époques, et que, comme le Nil, il inonde et fertilise le pays : les Indiens quittent alors leurs cabanes et se jettent dans leurs canots sur lesquels ils flottent jusqu'à ce que les eaux se soient retirées. Au mois d'avril 1793, il est arrivé qu'un courant de vent d'une intensité extraordinaire, refoula l'immense masse d'eau de ce fleuve, jusqu'à une distance de dix lieues, en sorte que le pays fut submergé et le lit du fleuve mis tellement à sec, qu'on pouvait s'y promener. Les vaisseaux qui avaient sombré et coulé bas, furent tous à découvert, et on y trouva entre autres un vaisseau anglais qui avait péri en 1762. Beaucoup de gens descendirent dans ce lit, visitèrent et dépouillèrent ces vaisseaux et s'en retournèrent les poches remplies d'argent et d'autres objets précieux. Ce phénomène qu'on peut regarder comme une des plus grandes convulsions de la nature, dura trois jours, après lesquels le vent s'abattit et les eaux rentrèrent avec fureur dans leur lit naturel.

(*) *Corresp. Astron. du baron de Zach*, 1824, n.° 11, vol. 10, pag. 194.

6.° *Sur la Température.*

A la rigueur, la température à la surface de la terre, serait donnée par la moyenne des observations thermométriques, faites en un point de cette surface, aux différens momens de la journée et pendant plusieurs années; mais on peut lui substituer celle de la couche superficielle du globe en ce point. En appréciant le seul effet de la latitude, on trouve que l'accroissement de température, en allant vers l'équateur, est proportionnel au cosinus de la latitude, élevé à la puissance $2\frac{1}{4}$. D'après cela, et en partant de l'observation faite à Paris, les températures observées seraient, à-peu-près, 30° $2\frac{1}{4}$ (cos. latitude) (A). Dans nos latitudes moyennes, on pourrait admettre la formule $27^o \cos^2$ latitude... (B); c'est celle qu'adopte M. *de Laplace* (Mécan. Cél., tom. V, pag. 76). La formule de *Tobie Mayer*, est E — m $\sin^2$ latitude : M. *Humboldt* a trouvé E $= 27^o, 5$ et $m = 27{,}9$. Sans recourir à ces formules, les tables suivantes des maxim. de temp. permettront de tracer avec assez de précision les principales lignes isothermes.

Maxima de température sur terre.

	LATITUDE.	TEMP. deg. cent. en +	OBSERVATEURS.
Equateur	0° 0′	38° 4	Humboldt.
Surinam	5 38 N.	32 3	
Pondichéri	11 55 N.	44 7	Le Gentil.
Madras	13 13 N.	40 0	Roxburgh.
Beit-el-Fakih	14 31 N.	38 1	Niebuhr.
Martinique	14 35 N.	35 0	Chauvalon.
Manille	14 36 N.	43 7	Le Gentil.
Antongil (Madag)	15 27 S.	45 0	Idem.
Guadeloupe	15 59 N.	38 4	Le Gauz.
Vera-Cruz	19 12 N.	35 6	Orta.
Ile de France	20 9 S.	32 6	Cossigny.
Philæ (Egypte)	24 0 N.	43 1	Coutelle.
Le Caire	30 2 N.	40 2	Id.
Bassora	30 45 N.	45 3	Beauchamp.
Paramatta (N.-H.)	33 49 S.	41 1	Brisbane.
Cap de Bonne-Espérance.	33 55 S.	43 7	Lacaille.
Vienne (Autriche)	48 12 N.	35 9	Brequin.
Strasbourg	48 35 N.	35 9	Herrenschneider.

	LATITUDE.	TEMP. deg. cent. en +	OBSERVATEURS.
Paris................	48 50 N.	38 4	
Varsovie.............	52 14 N.	33 8	Delsuc.
Franeker (Hollande)...	52 36 N.	34 0	Van-Swinden.
Copenhague..........	55 41 N.	33 7	Bugge.
Nain (Labrador).......	57 0 N.	27 8	De la Trobe.
Stockholm............	59 20 N.	34 4	Ronnow.
Pétersbourg..........	59 56 N.	30 6	Euler.
Abo.................	60 27 N.	34 2	Leche.
Islande (Eyafjord).....	66 30 N.	20 9	Van-Scheels.
Hindoën (Norwège)...	68 30 N.	25 0	Schytte.
Ile Melville...........	74 45 N.	15 6	Parry.

Maxima de température de l'atmosphère, observés en pleine mer, loin des continens.

	DATES.	LATITUDE.	temp. en +	OBSERVATEURS.
Océan Atlantique.	1772, 14 août.	14° 54′ N.	27° 5	Bayley.
id.......	1774, 23 mai.	4 5 N.	28 3	Idem.
id.......	1772, 13 août.	14 50 N.	28 6	Wales.
id.......	1775, 22 juin.	11 12 N.	29 2	id.
id.......	1785, 29 sept.	0 0	26 3	Lamanon.
id.......	1788, nov.	0 58 S.	27 2	Churruca.
id.......	1791, 6 nov.	9 16 N.	28 4	Dentrecast.
id.......	1800, mars.	0 33 S.	27 7	Perrins.
id.......	1816, 16 mars.	4 21 N.	27 8	John Davy.
id.......	1816, 11 mai.	4 43 N.	27 5	Lamarche.
id.......	1816, 13 oct.	5 38 S.	29 1	id.
Mer du Sud.....	1773, 16 août.	17 46 S.	28 9	Bayley.
id.......	1818, 18 févr.	8 55 S.	30 0	Kotzebue.
Mer des Moluques.	1792, 27 oct.	10 42 S.	30 6	Dentrecast.
id.......	1793, 2 août.	0 3 S.	29 7	id.
Grand Océan....	1803, févr.	0 11 N.	28 0	Humboldt.
id.......	1816, 26 déc.	11 14 N.	30 0	Kotzebue.
id.......	1817, 27 sept.	20 10 N.	30 3	id.
Mer de la Sonde..	1816, 20 juin.	5 38 N.	29 4	Basil Hall.
Mer de la Chine..	1816, 3 juillet.	13 29 N.	29 1	id.
Mer des Indes....	1816, 7 août.	2 10 N.	28 1	John Davy.
Méditerranée....	1818, 3 août.	39 12 N.	29 2	Gauttier.
id.......	1819, 24 juin.	38 46 N.	29 0	id.
Mer Noire.......	1820, 23 juin.	44 42 N.	29 4	id.

Maxima de température de la mer à sa surface.

	LATIT.	LONGIT. de PARIS.	temp. en +	DATES.	OBSERVATEURS.
Océan Atlantique.	7° N.	20° 3/4 O.	26° 9	1772	W. Bayley.
id........	4 N.	24 E.	28 3	1774	id.
id........	6 1/4 N.	22 1/5 O.	28 7	1788	Churruca.
id........	2 S.	29 3/4 O.	28 6	1803	Quevedo.
id........	7 N.	25 1/2 O.	28 8	1803	Rodman.
id........	1/3 O.	22 1/3 O.	28 2	1804	Perrins.
id........	4 N.	21 O.	28 6	1816	John Davy.
id........	5 N.	26 O.	27 5	1816	Lamarche.
id........	7 1/3 N.	24 1/2 O.	27 3	1816	Ch. Baudin.
id........	10 N.	20 1/2 O.	29 1	1816	Lamarche.
Mer du Sud......	17 3/4 S.	208 E.	28 9	1773	W. Bayley.
Mer de Chine.....	13 1/2 N.	110 1/2 E.	29 1	1816	Basil Hall.
Mer de Ceylan...	2 1/2 N.	75 1/2 E.	28 9	1816	John Davy.
Mer des Indes....	1 N.	91 E.	29 6	1816	Ch. Baudin.
Grand Océan	9 49′ N.	170 3/4 E.	27 6	1816	Kotzebue.
id	9 59 N.	153 1/4 E.	30 5	1817	id.
Mer de la Sonde..	4 21 S.	104 1/4 E.	29 1	1818	id.
Au N. de Sumatra.	5 1/3 N.	98 E.	28 9	1817	Basil Hall.

De l'ensemble de ces observations, M. *Arago* tire les conclusions suivantes :

1.° *Dans aucun lieu de la terre et dans aucune saison*, un thermomètre élevé de 2 ou 3 mètres au-dessus du sol, et à l'abri de toute réverbération, *n'atteindra le 46° centigrade ;* 2.° *En pleine mer*, la température de l'air, quels que soient le lieu et la saison, *n'atteint jamais le* 31° *centigrade ;* 3.° *Le plus grand degré de froid* qu'on ait jamais observé sur notre globe avec un thermomètre suspendu dans l'air, *est de* 50° *centigrades au-dessous de zéro ;* 4.° *La température de l'eau de la mer*, sous aucune latitude et dans aucune saison, *ne s'élève au-dessus de* + 30° *centigrades.*

Tableau contenant les résultats de quelques observations faites par des navigateurs récens sur la température de l'Océan, à diverses profondeurs au-dessous de sa surface. (*Philosoph. journ.*, janvier 1825; pag. 103.)

LIEU.		TEMPÉR. (FARENH.) de		Profondeur en brasses (fathoms) (*).	Température à la profondeur indiquée dans la col. précédente.	NOMS des NAVIGATEURS.
LATITUDE.	LONGITUDE de GREENWICH.	l'air.	la surface de l'eau.			
80° 0' N.	5° 0' E.	40° 0	29° 7	120	36° 3	Shoresby.
79 4	5 4	34 0	29 0	13	31 0	id.
» »	» »	» »	» »	37	33 8	id.
» »	» »	» »	» »	57	34 5	id.
» »	» »	» »	» »	100	36 0	id.
» »	» »	» »	» »	400	36 0	id.
79 4	5 38	38 0	29 0	730	37 0	id.
78 2	» 10 O.	36 0	32 0	761	38 0	id.
78 0	—	40 5	—	118	31 0	Lord Mulgrave.
77 4	2 30 E.	30 0	29 0	50	29 3	Shoresby.
» »	» »	» »	» »	100	31 0	id.
77 15	8 10	16 0	29 3	20	29 3	id.
» »	» »	» »	» »	40	29 3	id.
» »	» »	» »	» »	60	30 0	id.
» »	» »	» »	» »	100	30 0	id.
76 34	10 50	25 0	30 0	20	31 0	id.
» »	» »	» »	» »	40	35 0	id.
» »	» »	» »	» »	60	34 0	id.
» »	» »	» »	» »	100	34 7	id.

(*) La *brasse* française vaut cinq pieds de roi ; le mot même indique une longueur à-peu-près égale à celle des bras ouverts et étendus en croix : en Angleterre, elle est de 5 pieds 7 pouc. 7 lig. ; en Hollande de 5 pieds 9 pouc. 7 lig. ; en Danemarck de 5 pieds 9 pouc. 6 lig. ; en Suède 5 pieds 5 pouc. 10 lig. ; en Russie elle est la même qu'en Angleterre ; en Portugal, en Espagne et à Naples, la même à-peu-près qu'en France. Le *Fathom* = 6 pieds anglais = 5,63 pieds français = 1,83 mètres.

LIEU.		TEMPER. (FARENH.) de		Profondeur en brasses (fathoms.)	Température à la profondeur indiquée dans la colonne précédente.	NOMS des NAVIGATEURS.
LATITUDE.	LONGITUDE de GREENWICH.	l'air.	la surface de l'eau.			
76° 16′ E.	10° 50′ N.	16° 0	28° 3	20	28° 9	Shoresby.
» »	» »	» »	» »	50	28 3	id.
» »	» »	» »	» »	123	30 0	id.
» »	9 0	12 0	28 8	50	31 8	id.
» »	» »	» »	» »	123	33 8	id.
» »	» »	» »	» »	230	33 3	id.
75 28	60 36 O.	—	34 0	314	32 0	Ross.
75 2	105 14	31 0	30 0	94	31 25	Parry.
73 37	77 28	—	34 5	80	32 0	Ross.
73 35	89 1	39 0	34 0	185	34 0	Parry.
72 7	19 11	42 0	34 0	118	29 0	id.
72 5	76 0	31 0	30 5	110	30 25	id.
72 0	73 0	33 0	32 0	75	32 25	id.
71 24	71 0	38 0	35 0	88	33 0	id.
69 0	—	59 5	—	673	32 0	Lord Mulgrave.
68 25	65 0	34 0	32 0	35	31 5	Parry.
68 24	63 32	31 0	30 5	170	30 5	id.
» »	63 8	29 0	30 0	318	30 0	id.
68 12	60 5	31 5	32 0	770	33 0	id.
68 19	66 5	34 0	32 »	146	34 0	id.
68 0	62 9	34 0	31 »	809	27 0	id.
» »	60 0	30 »	34 5	200	33 25	id.
67 0	—	48 5	» »	810	26 0	Lord Mulgrave.
61 11	31 12	48 0	47 5	320	44 25	Parry.
60 44 N.	59 20	—	» »	100	30 0	Ross.
60 44	59 20 O.	0 0	» »	200	29 0	id.
» »	» »	» »	» »	400	28 0	id.
» »	» »	» »	» »	660	25 5	id.
59 0	47 46	35 0	37 »	260	39 0	Parry.
58 52	48 12	38 5	38 5	290	38 75	id.
57 44	47 31	46 0	45 »	650	40 5	Cap. Franklin.
57 39	13 31	50 0	49 5	140	47 8	Parry.
57 26	25 11	49 0	49 »	130	48 0	id.
57 0	17 52	50 5	50 »	100	49 0	id.
56 59	24 33	49 0	48 5	1020	45 5	id.

LIEU.		TEMPÉR. (FARENH.) de		Profondeur en brasses (fathoms.)	Température à la profondeur indiquée dans la col. précédente.	NOMS des NAVIGATEURS.
LATITUDE.	LONGITUDE. de GREENWICH.	l'air.	la surface de l'eau.			
39° 4' N.	13° 8' O.	72° 5	69° 1	138	56° 0	Kotzebue.
39 27	12 57	71 1	68 5	100	56 7	id.
37 3	199 17	63 0	61 »	10	59 5	id.
36 9	148 9	73 0	71 9	25	57 1	id.
» »	» »	» »	» »	100	52 8	id.
» »	» »	» »	» »	300	44 0	id.
36 »	15 0	72 5	75 »	95	74 7	Krusenstern.
35 51	147 38	75 0	72 »	100	51 0	Kotzebue.
29 24	199 26	75 0	74 »	100	62 0	id.
27 50	152 22	77 1	77 »	200	51 5	id.
23 3	181 56	—	78 »	25	75 0	Krusenstern.
» »	» »	—	» »	50	70 5	id.
» »	» »	—	» »	125	61 5	id.
20 30	83 30	—	83 »	1000	45 5	Sabine.
9 25	203 0	85 7	87 4	100	49 5	Kotzebue.
9 21	204 44	84 0	83 »	450	77 0	id.
8 59	204 24	85 0	87 »	100	56 2	id.
2 55	—	81 0	81 »	10	81 0	Bladh.
2 50	—	83 1	84 5	20	81 0	id.
0 0	—	75 5	74 »	85	66 0	Wales et Bayley.
0 0	177 5	83 0	82 5	300	55 0	Kotzebue.
0 56 S.	146 16	82 0	82 »	100	60 0	Krusenstern.
3 26	7 59 E.	—	73 »	1000	42 0	Wanhope.
15 26	133 42 O.	79 8	80 »	10	79 0	Kotzebue.
18 17	124 56	79 2	78 5	125	68 5	id.
24 0	—	72 5	70 »	80	70 0	Wales et Bayley.
30 39	345 33	68 0	67 »	35	49 5	Kotzebue.
34 44	—	60 5	59 »	100	57 0	Wales et Bayley.
55 40	—	47 0	40 5	110	51 5	Bladh.
44 17	57 31	57 6	54 9	196	38 8	Kotzebue.

Le capitaine *Edward Sabine* se trouvant par 20° ½ de latitude nord, et 83 ½ de longitude occidentale comptée de Greenwich, con-

clut de ses expériences qu'un abaissement de 20°,7 du thermomètre centigrade, répondait à un enfoncement d'environ 1000 brasses. Comme à la surface de la mer, la température moyenne était de 28°,2, il s'ensuit qu'à l'immense profondeur de 1000 brasses, il ne marquait plus que 7°,5. Ce marin estime qu'il aurait suffi de faire descendre le thermomètre de quelques centaines de brasses de plus, pour qu'il eût indiqué le degré correspondant au maximum de densité de l'eau salée, qui équivaut en poids à plus de 80 atmosphères. Cette température n'est pas la même dans toutes les mers, à la même profondeur, à cause des courans (*).

L'élément qui, après la latitude, influe le plus sur la température d'un point de la surface du globe, est son élévation au-dessus du niveau de la mer. Lorsqu'on s'élève dans l'atmosphère, la chaleur y décroît d'environ 1° centigrade par 160 mètres d'élévation. Mais celle des terres qui sont au-dessus du niveau de la mer, participant tout-à-la-fois de la température de l'atmosphère et de celle du globe, décroît dans un moindre rapport : on ne s'éloigne guères de la réalité, *en estimant à un demi-dégré centigrade, par 100 mètres de hauteur, la diminution de température due à l'élévation du sol*, ce qui revient à dire *qu'une élévation de cent mètres, équivaut, à-peu-près, à une augmentation d'un dégré en latitude*. Ces règles ne doivent être considérées que comme de simples approximations.

Les autres causes qui influent sur la chaleur des diverses parties de la surface du globe, sont moins encore susceptibles d'être soumises à une loi générale : nous nous bornerons donc à observer 1.° que la température de notre continent, diminue à mesure qu'on s'avance vers l'orient; 2.° que l'hémisphère austral est, en général, plus froid que l'hémisphère boréal, ce qui est dû surtout à la moins grande quantité

(*) On s'est servi de deux thermomètres dont l'un était enfermé dans un fort cylindre en fer pesant 75 livres, et dont le couvercle supérieur se vissait sur une rondelle de cuir, pour empêcher l'eau de pénétrer dans l'intérieur : la boule du thermomètre touchait le fond du cylindre. Le second était renfermé dans un cylindre percé de trous dans le haut et dans le bas, et à travers lequel l'eau pouvait librement circuler. A une profondeur de 1230 fathoms, le cylindre bouché marquait 9°,7 centigrades et l'autre 7°,5 centigrades. Les indications du second doivent être préférées.

de terre que renferme ce continent. Ce fait est mis hors de doute par les voyages de *Cook;* mais à quelle distance des régions équinoxiales, la différence commence-t-elle à être sensible? Suivant quelle loi marche-t-elle, à mesure que la latitude augmente? Quand ces questions auront été complètement résolues, on pourra soumettre à une discussion exacte les causes diverses auxquelles ce grand phénomène a été attribué. Aux *Malouines*, par 51° ½ de latitude australe, la différence du climat est très-grande; on peut adopter + 9° pour la température moyenne de ces îles ; tandis qu'à *Londres* qui se trouve précisément à la même latitude nord, la température moyenne publiée par la Société Royale, est de 15° centigrades; c'est-à-dire, 6° de plus qu'aux Malouines.

On peut consulter sur *les lignes isothermes et la distribution de la chaleur sur le globe*, un mémoire de M. *Humboldt*, inséré tom. III de ceux de *la Société d'Arcueil*, et les remarques de M. *Fourier* sur la température du globe terrestre et des espaces planétaires. (Ann. de Phys. et de Chimie. tom. XXVII, p. 136-167.)

Pour fixer la limite inférieure des neiges perpétuelles, on a donné la formule 4320 mèt. $\cos^2 l$ + 500 mètres, l désignant la latitude du lieu.

OBSERVATEURS.	LIEUX.	LIMITES OBSERVÉES.	LIMITES CALCULÉES.
Humboldt.	Equateur	4800	4820
Bouguer.	Tropique	4100	4133
Webt.	Inde	3520	3727
Saussure.	Alpes	2700	2585
De Buch.	Cercle polaire.	1169	1160
De Buch.	70° latitude...	1060	1005

Des faits aussi positifs que bien constatés portent à conclure que dans les mines et même dans toutes les excavations au milieu des roches, la température augmente à mesure qu'on s'y enfonce, et cela dans une progression rapide; elle est de plus de 1° par 50 mètres. Ce fait semble indiquer que la terre possède dans son sein un ou plusieurs foyers de chaleur, indépendans de l'action du soleil.

7.° *De l'Arc-en-ciel* (*).

L'arc-en-ciel est une image circulaire et colorée du soleil, qui résulte de la décomposition de ses rayons par l'eau que l'air tenait en dissolution et qui tombe en gouttes de pluies. Cet effet de l'eau sur la lumière, n'a lieu que sous des conditions indispensables, qui sont la présence du soleil sur l'horizon et la résolution d'un nuage en pluie : il faut encore que l'observateur tourne le dos au soleil, et qu'il soit placé entre cet astre et le lieu où tombe la pluie. D'autres circonstances rendent l'arc-en-ciel plus ou moins apparent; un nuage opaque placé derrière la portion transparente de l'atmosphère, où l'arc est formé, en fait ressortir les couleurs : cette portion d'atmosphère ne doit pas seulement être transparente, il faut encore qu'elle ait une certaine dimension en épaisseur surtout, pour que l'arc-en-ciel soit visible à une grande distance. La grandeur et la position des arcs-en-ciel, dépendent de la hauteur du soleil, de la position du spectateur par rapport à cet astre, et de la figure du terrain enveloppé par les nuages. Un arc-en-ciel dont les couleurs sont très-vives, est presque toujours accompagné d'un second arc, et quelquefois, mais très-rarement, d'un troisième : dans tous ces arcs, l'ordre des couleurs est constant. Dans l'arc interne, en commençant par le haut, les couleurs qui sont celles du spectre, sont dans l'ordre suivant; rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet : dans l'arc extérieur, s'il n'y en a que deux, l'ordre des couleurs est inverse : les couleurs du second arc sont beaucoup moins vives que celles du premier : le troisième est ordinairement si faible qu'il est rarement visible. Le diamètre apparent de chacun de ces arcs est constant. En regardant le soleil comme un point placé à une grande distance de la terre, les rayons solaires arrivent à la goutte d'eau sous des directions sensiblement parallèles; ils s'y réfractent pour passer de l'air dans l'eau et de l'eau dans l'air; mais cette seconde réfraction est accompagnée d'une réflexion; les rayons solaires étant décomposés par la première réfraction en élémens rouges, jaunes, etc., ces élémens se réfléchissent dans l'intérieur de la goutte, avant de repasser dans l'air : or, d'après les lois de la réflexion et de la réfraction, un

(*) On trouvera une notice historique très-intéressante sur l'arc-en-ciel, due à M. *Hachette*, dans la Correspondance sur l'école Polytechnique (Tom. 1, Pag. 412.)

rayon solaire quelconque et les rayons colorés qui résultent de sa décomposition, sont dans un plan mené par le rayon et le centre de la goutte d'eau : donc si par l'œil du spectateur, les centres du soleil et de la goutte sphérique, on conçoit un plan, il n'y aura que les rayons solaires tombant sur la section de la goutte sphérique par ce plan, dont les élémens colorés pourront arriver à l'œil; mais ces rayons élémentaires arriveront mêlés et divergens, et la couleur du spectre qu'ils produiront, sera d'autant plus faible qu'on sera plus éloigné du lieu où est placée la goutte d'eau. Pour chaque système de rayons colorés, il y a un petit faisceau composé de rayons sensiblement parallèles : comme on n'éprouve la sensation de la couleur propre à ces rayons, qu'autant que l'œil en reçoit l'impression, on les a nommés *efficaces*. La détermination de l'angle que chacun de ces faisceaux efficaces, fait avec les rayons solaires, est un des principaux points de la théorie de l'arc-en-ciel. On a trouvé par la théorie que le diamètre du premier arc-en-ciel, est de 1° 45′ 56″, et que celui du second, est de 3° 10′ 46. La distance entre les deux arcs est de 8° 27′. Il y a une circonstance assez remarquable pour les navigateurs : c'est la réunion de deux arcs-en-ciel, l'un produit par les rayons directs du soleil, et l'autre par l'image de cet astre sur la surface réfléchissante des eaux. On lit dans les Mémoires de l'Institut d'Egypte (*pag.* 8) un rapport curieux de *Monge* sur ce double arc-en-ciel : l'explication qu'il en donne, s'accorde avec celle de *Descartes* qui avait observé le même phénomène près d'un grand lac. On observe encore des arcs-en-ciel, formés par la lune, mais qui sont beaucoup moins prononcés. Cependant, en 1724, le 4 juin, vers dix heures du soir, à Monaco, la lune étant dans toute sa splendeur, il se forma sur l'horizon, du côté opposé à la partie sereine du ciel, une nuée noire qui versa une pluie abondante, et alors on distingua un arc-en-ciel parfait : cet iris lunaire dura six à sept minutes.

8.° *Des Parhélies, des Couronnes et des Paraselènes.*

Les *parhélies* présentent à l'observateur une ou plusieurs images du soleil, et les *paraselènes* une ou plusieurs images de la lune. Les *couronnes* offrent le spectacle de divers anneaux lumineux que l'on voit quelquefois pendant le jour autour du soleil, et pendant la nuit autour de la lune. Le 29 mars 1629, *Scheinerus* observa à Rome cinq

soleils, et en 1661 *Hevelius* vit à Dantzick le soleil accompagné de six images solaires qui le ravirent d'admiration et de surprise. Le même *Hevelius* observa à Dantzick, le 30 mars 1660, deux fausses lunes aux deux côtés de la lune. Lorsqu'il se trouve entre notre œil et un corps lumineux, un amas de globules d'eau, comme du brouillard qui n'est pas assez intense pour nous cacher ce corps, nous le voyons entouré d'une auréole lumineuse quelquefois colorée : c'est ce dont on s'assure facilement, en regardant une bougie allumée à travers le nuage de vapeur qui se forme au-dessus d'un vase rempli d'eau bouillante : cet effet est encore dû aux réflexions et réfractions que subissent les rayons lumineux en traversant les petites gouttes d'eau. On croit que c'est ainsi que sont produites les couronnes : à la vue de ces phénomènes, beaucoup de cultivateurs prédisent la pluie qui arrive assez souvent. Les couronnes et les parhélies se nomment communément *Halos*. Sur l'histoire et l'explication de ces météores, on pourra consulter les chapitres X et XI du Traité d'Optique de *Robert Smith*, et l'Histoire phil. des progrès de la Physique, par *Libes*, 2.e vol.

Nous rangerons sous ce titre la description de quelques phénomènes atmosphériques observés en 1824, à Leith, en Ecosse (Journ. of scienc. Edimb. 1825, pag. 49). 1.° Le 21 janvier, environ 9 heures du soir, une faible lumière blanche apparut vers le nord, élevée de 40°, à-peu-près, au-dessus de l'horison, occupant un très-grand espace et traversant le zénith ; ce n'était pas une *aurore boréale;* (voyez 9.°) mais elle formait des lignes divergentes vers le sud, qui s'affaiblirent de plus en plus et disparurent. La lumière était fixe, très-pâle et dura long-temps, sans éprouver aucun changement. 2.° Le 6 avril au coucher du soleil, parut un halo brillant ; le ciel était légèrement voilé, le soleil en partie obscurci par un nuage épais de même apparence : le halo était simple et d'un blanc uniforme ; le diamètre vertical en était beaucoup plus grand que le diamètre horizontal, dans le rapport de 42° à 35° : au même instant parut une colonne verticale de lumière, s'élevant du soleil à la circonférence du halo. 3.° Le 1.er mai, après 6 1/2 heures du soir, tandis que le ciel était couvert de nuages flottans, on vit à l'est, exactement en opposition avec le soleil, un grand nombre de rayons lumineux qui divergeaient d'un point situé, en apparence, un peu au-dessous de l'horizon, et qui s'étendaient autour de ce point de

manière à occuper une moitié du ciel; ces rayons étaient très-déliés, mais parfaitement distincts. Très-peu de temps après leur apparition, ils disparurent lorsque le nuage qui voilait le soleil durant cette apparition, eut un peu changé de place : mais lorsque ce nuage fut arrivé près du zénith, un autre phénomène du même genre apparut; c'était un large rayon conique partant horizontalement de l'intervalle compris entre deux proéminences du nuage, et s'étendant fort au loin : ces phénomènes sont du genre de celui dont M. *Brewster* attribue la cause *à une convergence des rayons solaires* (*). 4.° Le 3 août entre 5 et 6 heures du soir, après une journée très-pluvieuse, les nuages flottaient dans plusieurs directions, sous l'apparence de larges *cumulostrati* : l'un de ces nuages marchant vers le sud-ouest, parut tomber en morceaux, et se dissoudre à la surface inférieure, et lorsqu'il eut beaucoup diminué, il s'éleva graduellement dans les plus hautes régions de l'atmosphère, offrant l'agréable image d'une rose qui s'épanouit : lorsqu'il eut atteint la même hauteur que d'autres masses de nuages accumulés, il s'étala et disparut vers le crépuscule : l'ascension de ce nuage dura environ cinq minutes. Dans la même soirée, un autre nuage plus éloigné présenta des phénomènes semblables et dans le même ordre. Ce ciel de roses est assez rare en Ecosse, quoique les phénomènes météorologiques y soient très-communs.

On trouve (American Journ. of Scien. and Arts, tom. VII, p. 337) la description d'un halo, par *Th. Kendall*, (Extr. d'une lettre de New-Lebanon, le 1.er janvier 1824).

Le 2 juillet, on fut témoin dans les environs de ce lieu, du phénomène extraordinaire de plusieurs halos situés autour et dans le voisinage du soleil. Depuis deux ou trois semaines, le temps était

---

(*) M. *Brewster* a observé le 9 octobre 1824, un phénomène curieux déjà décrit dans l'optique de *Smith*, et qui consiste en ce que les rayons partis du soleil dans toutes les directions, semblent se réunir vers un point opposé du ciel, comme le feraient les méridiens de la terre, et, en général, une suite de cercles passant par le rayon visuel mené de l'observateur à l'astre. Ces rayons convergens ne peuvent s'observer qu'autant qu'ils se dessinent sur des nuages noirs opposés au soleil. Dans tout autre cas, leur peu d'intensité les fait disparaître devant la lumière des rayons divergens.

sec et chaud. Ce jour-là, l'atmosphère était un peu vaporeux; à une heure de l'après-midi, le soleil se montra voilé d'un mince réseau de nuages, peu dense et prenant successivement un aspect plus uniforme : cette apparence fut bientôt suivie de quelques gouttes de pluie : à deux heures, l'observateur commença à apercevoir les halos. Les nuages avaient disparu en partie, du moins étaient-ils devenus minces et uniformes, comme la vapeur qui d'ordinaire accompagne ces sortes de phénomènes. Le soleil était entouré d'un halo de grandeur commune, mais beaucoup plus brillant et ressemblant à l'arc-en-ciel autant qu'aux halos ordinaires : l'intérieur de cette couronne était plus sombre que l'espace environnant. Au nord du cercle lumineux, parut un autre halo, d'un diamètre une demi-fois plus grand que celui du premier, moins brillant que celui-ci, mais cependant plus brillant que de coutume, dont la circonférence passait par le soleil : l'intérieur de ce nouveau halo, était plus obscur que l'atmosphère extérieur, mais moins que l'intérieur du premier. La partie septentrionale de la couronne, était traversée en l'un de ses points par des segmens de deux autres cercles pas tout-à-fait aussi brillans que le dernier, et dont les diamètres que l'on ne pouvait déterminer, étaient visiblement plus grands que celui du deuxième halo, et, d'après l'opinion de l'observateur, ces segmens, s'ils étaient en effet des portions de cercles parfaits, devaient, comme le précédent, correspondre et aboutir au soleil. A chacun des points d'intersection, la splendeur augmentait en proportion du nombre des cercles qui se croisaient. Un peu au sud-est et à demi-distance environ, entre le côté méridional de la première couronne et l'horizon, apparut un segment de 15 à 20 degrés, d'un autre cercle qui avait évidemment pour centre le soleil, qui jettait un éclat semblable à celui du premier cercle, et que quelques personnes prirent pour un arc-en-ciel. A un instant, l'observateur découvrit des portions du cercle qui coupait le second à l'est et à l'ouest; mais alors les intersections du côté du nord, n'étaient point visibles. Ces apparences ne furent ni de longue durée ni constantes dans leur arrangement; mais elles avaient un aspect magnifique et sublime au-delà de toute expression. L'auteur de cette description traça sur les lieux et au moment même, l'esquisse de ce singulier phénomène.

M. *Arago* a observé le 11 avril, 1825, à midi, le phénomène

des halos dont les diamètres apparens sont de 22° 1/2 et 45°. L'instrument qu'il a imaginé pour reconnaître la lumière polarisée, l'a mis à même de se convaincre que celle des halos, n'est point une lumière réfléchie, mais une lumière réfractée, expérience qui ajoute beaucoup de probabilité à l'explication du phénomène donnée par *Mariotte* : ce physicien admettait que la lumière solaire était réfractée dans son passage à travers des gouttes d'eau glacées et suspendues dans l'atmosphère. M. *Arago* croit que l'observation des halos, pourra faire connaître la véritable loi du décroissement de la température, à mesure qu'on s'éloigne de la surface terrestre, loi qui n'est fondée jusqu'à ce jour que sur une seule ascension aérostatique de M. *Gay-Lussac.*

9.° *De l'Aurore boréale.*

Ce n'est que dans le siècle dernier qu'on a commencé à étudier ce phénomène d'après les règles d'une saine physique. Ce météore lumineux se montre ordinairement du côté du nord, en tirant un peu vers l'ouest; il apparaît ordinairement trois ou quatre heures après le coucher du soleil; il s'annonce par une espèce de brouillard qui présente peu à peu la figure d'un segment de cercle dont l'horizon forme la corde : ce segment paraît bientôt bordé d'arcs concentriques séparés par des bandes obscures; de la partie obscure du segment, partent des jets de lumière qui se renouvellent quelquefois avec tant de rapidité que tout le segment semble être en mouvement : enfin le phénomène se montre dans toute sa magnificence ; il se manifeste au zénith une couronne enflammée qui paraît être le centre vers lequel tous les mouvemens se dirigent ; il diminue graduellement, les jets de lumière et les vibrations deviennent plus rares; toute la lumière se contracte vers le nord; enfin tout disparaît. Nous ne rapporterons pas ici les explications de *Mairan*, de *Francklin* et d'*Euler*. Nous observerons seulement avec les physiciens modernes qu'il y a une liaison intime entre les causes de l'aurore boréale et du magnétisme terrestres. En effet, outre la correspondance entre l'apparition de l'aurore

---

(*) Voyez Bibl. univ., mars 1826, une hypothèse sur le magnétisme, par le D.r *Buchner*.

boréale, et les affolemens de l'aiguille aimantée, on a reconnu 1.° que les arcs concentriques reposent sur des points également éloignés du méridien magnétique; 2.° que le point le plus élevé de chaque arc, se trouve dans ce méridien; 3.° que le point où les rayons lumineux partis de l'horizon, se réunissent, est celui vers lequel se dirige une aiguille aimantée, suspendue par son centre de gravité. Les aurores boréales sont d'autant plus rares pour un spectateur qu'il est plus rapproché de l'équateur où elles n'apparaissent plus. Le capitaine *Cook*, dans ses voyages vers le pôle austral, a observé de ces aurores qu'on peut nommer *aurores australes*. On a déjà vu que l'aiguille aimantée est sujette à des variations brusques et accidentelles qui coïncident avec les apparitions de l'aurore boréale : l'influence de ce météore sur l'aiguille, est ordinairement passagère; alors après s'être vivement agitée, pendant qu'il se manifeste, elle revient à sa position première, et reprend l'ordre de ses mouvemens accoutumés : il arrive aussi, comme l'a observé *Cassini*, qu'elle éprouve un déplacement durable (*).

(*) Nous ajouterons ici quelques résultats sur les inclinaisons et les déclinaisons de l'aiguille aimantée, qui ne nous étaient pas encore connus, lors de la rédaction de la note (pag. 283) et les additions (p. 285 et suiv.). Ces résultats ont été recueillis à une leçon de physique de M. *Pouillet*, professeur à la faculté des sciences de Paris.

En 1580 la déclinaison était de	11° 30′ vers l'orient.	
1618	8° ex.	
1663 la déclinaison était nulle.		
1678 elle était de	1° 30′ vers l'occident.	
1700	8° ex.	
1767	19° 55′	
1785	22°	
1805	22° 5′	
1813	22° 28′	
1817	20° 19′	(M. *Pouillet* ne croit pas que
1823	22° 11′	ce nombre soit une erreur.)
1825	22° 12′ 48″	Au mois de sept. à 8 h. du mat.
A midi, le même j.	22° 21′ 31″	

L'inclinaison a été observée beaucoup plus tard;

En 1798 l'inclinaison était de	69° 51′
1810	68° 50′
1818	68° 35′
1824	68° 7′
1825	68°

À ces faits généraux, nous ajouterons l'extrait d'un article du Rev. *Farquharson* (Edimb. Phil. Journ. avr. 1823, pag. 303) *sur l'ordre, l'apparence et les progrès de l'aurore boréale.*

L'aurore boréale se voit fréquemment dans le comté d'Aberdeen, et les faits observés par M. *Farquharson* sont d'autant plus intéressans, qu'ils ont une liaison évidente avec l'électro-magnétisme. À la latitude d'Alford (environ 57° 12′ nord), l'aurore boréale commence à se montrer après la brune, semblable à un crépuscule brillant, mais circonscrit sur l'horison visible, dont le centre est exactement à la pointe septentrionale du méridien magnétique : l'intensité de l'espace brillant, varie par des accès continuels d'éclat et d'obscurité, et augmente par degré, à mesure que le météore s'agrandit, en s'élevant et s'étendant davantage de l'est à l'ouest : tout l'espace lumineux offre alors l'aspect de faisceaux de rayons dont la pointe est tournée vers le ciel, semblables à ceux que présente le soleil perçant à travers les nuages par un temps sombre. Les rayons qui sont sur le méridien magnétique, sont parallèles à la verticale du lieu ; et ceux qui sont à une distance considérable à l'est ou à l'ouest de ce méridien, se dirigent au zénith, ou vers un point distant d'environ 10°, vers le sud de cette limite. Cette lumière d'un blanc-bleuâtre se change ensuite en un beau vert-pâle qui, lorsque le météore est tout-à-fait élevé au-dessus de l'horizon, se colore en bleu et en violet à l'extrémité inférieure des pinceaux de rayons, et en jaune et en orangé, à leur extrémité supérieure : tous ces rayons diffèrent dans leur intensité et leur apparence varie continuellement ; tantôt ils se brisent et disparaissent dans un espace considérable à leurs extrémités, et ils reparaissent aussitôt dans tout leur éclat et leur grandeur primitive ; tantôt ils courent de l'ouest à l'est, ou de l'est à l'ouest, conservant exactement leur parallélisme avec les rayons voisins ou ceux dont ils s'approchent ; ils restent alors stationnaires pendant une ou deux secondes, éprouvent divers changemens de vivacité et disparaissent ensuite instantanément, pour être remplacés par d'autres rayons créés aussi rapidement que les premiers ont disparu. Cette magnifique lumière s'étend par degrés vers le sud et se sépare enfin de l'horizon septentrional, à la pointe des méridiens magnétiques, en formant un axe plat et lumineux dans la partie septentrionale du

ciel : l'arc continue à s'avancer vers le sud ; lorsqu'il a atteint une élévation d'environ 45°, il présente l'aspect d'une large zone occupant du nord au sud, un espace de 25° à 35° de largeur à sa partie la plus élevée : ses extrémités occidentale et orientale reposent sur l'horizon visible. La zone lumineuse, en s'avançant vers le sud, se déplace parallèlement à elle-même, et après avoir dépassé l'élévation de 15°, commence à éprouver un changement remarquable dans son apparence : les pinceaux de rayons changeans, qui occupaient jusqu'alors dans la direction de leur longueur, un espace de 25° à 30°, se raccourcissent peu à peu, et à mesure que la zone s'approche du zénith, la ceinture de lumière devient plus compacte et son éclat plus vif : les pinceaux de rayons sur le méridien magnétique, continuent encore à être dirigés vers le zénith, et conséquemment l'angle qu'ils font avec la zone, diminue graduellement. Enfin la zone lumineuse arrive au zénith, et coïncide dans toute son étendue de l'est à l'ouest, avec le plan vertical perpendiculaire au méridien magnétique : l'intensité de la lumière est alors considérablement augmentée, quoique dans un espace très-étroit et qui n'excède pas 30° du nord au sud, vers l'est ou l'ouest du zénith; elle prend un caractère mixte qui tient de l'apparence nébuleuse et de celle des rayons parallèles : mais au zénith, on n'aperçoit plus ce parallélisme des rayons, et l'intensité variable de la lumière sans cesse changeante, présente des taches indéfinies. L'espace lumineux continue à se mouvoir vers le sud, parallèlement à lui-même, et lorsqu'il est arrivé à 10° sud du zénith, il commence à augmenter de largeur par des changemens inverses à ceux qu'il a éprouvés avant d'arriver à ce point : la lumière vers la partie élevée de l'arc, reprend l'apparence de pinceaux de rayons parallèles au méridien magnétique; ces rayons vers les extrémités orientales et occidentales, ne conservent plus leur parallélisme avec la ligne de la zone, mais forment avec elle un angle qui augmente par degrés, à mesure que la zone s'avance vers le sud : ils sont encore dirigés vers le zénith ou vers un point distant de 10° vers le sud de cette limite : l'augmentation de l'espace lumineux continue toujours à mesure qu'il s'avance vers le sud ; mais, dans les observations qu'a faites l'auteur, le météore ne s'est jamais éloigné à plus

de 25° ou 38° au sud du zénith, étant devenu peu à peu insensible et ayant disparu totalement, avant d'avoir atteint cette limite. L'aurore boréale ne présente pas toujours la série des phénomènes qui viennent d'être décrits : la vitesse surtout avec laquelle le météore se meut vers l'est, varie considérablement : on l'a vue une fois passer dans l'espace d'une heure de 45° au nord à 30° au sud. L'auteur a remarqué surtout que les nuages qui passent au-dessous de l'aurore boréale, dans le méridien magnétique, augmentent son éclat, et que ces nuages présentent une lumière phosphorescente, ce qui est un effet de l'action électro-magnétique.

Dans l'*Edimburgh magazine, july* 1824, *pag.* 49, on trouve un article dans lequel on cherche à établir que les aurores polaires boréales et australes sont dues à la combustion du gaz hydrogène aux confins de l'atmosphère terrestre. L'auteur expose d'abord l'aspect général des aurores et les principaux phénomènes qui les accompagnent : le suivre dans cette description, ce serait nous répéter. Nous nous bornerons donc à en extraire deux particularités sur lesquelles il se fonde principalement pour établir son opinion. La première est que les aurores boréales sont quelquefois accompagnées d'un bruit semblable au sifflement du vent, ou au froissement de la soie ; ce bruit serait même assez fort pour effrayer les chiens qui chassent les renards bleus sur les bords de la mer glaciale : cependant à des latitudes plus basses, il ne paraît pas avoir été constaté d'une manière bien authentique. Une seconde particularité qui fournirait en effet, un argument assez fort en faveur de l'hypothèse de l'auteur, c'est le vent du sud, qui, selon lui, suit constamment l'apparition d'une aurore boréale, et qu'il attribue au vide formé près du pôle, par la combustion du gaz hydrogène.

M. *Dutertre* que nous avons déjà cité, suppose que le fluide électrique s'élève dans l'air, à raison de sa moindre densité, et il cherche dans les mouvemens de ce fluide qu'il croit devoir se porter vers les pôles de la terre, la cause des aurores boréales et des *étoiles filantes* dont il sera question plus loin.

D'après les découvertes récentes de l'intime relation ou de la presque identité des fluides élastique et magnétique, quelques physiciens sont portés à croire que la terre rend par les pôles, à l'atmosphère

l'excédant d'électricité dont elle est parfois chargée, de même que l'air s'en décharge par les orages (*).

On peut encore consulter l'article de M. *Biot* sur les aurores boréales (Journ. des savans, année 1820, pag. 341 et 460).

10.° *Lumière zodiacale.*

Le nom de *lumière zodiacale* vient de ce qu'on appelle *Zodiaque* une zone céleste d'environ 20° de largeur, dont l'écliptique ou la route annuelle du soleil occupe le milieu, et dans laquelle on croyait autrefois que toutes les orbites des planètes étaient renfermées : cette lumière n'est autre chose que l'auréole qui accompagne le soleil et qui est toujours comprise dans cette zone, phénomène qui tient sans doute à l'état actuel et à la nature même de cet astre : on l'observe le soir, lorsque le soleil vient de se coucher et à l'endroit même où cet astre a quitté l'horizon : sa forme est celle d'une lentille très-applatie, placée obliquement sur l'horizon et dont la tranche aiguë se prolonge très-loin dans le ciel : cette lumière est blanchâtre comme celle de *la voie lactée*. On a fait plusieurs hypothèses sur sa nature et sur sa cause : on avait pensé d'abord qu'elle émane de l'atmosphère du soleil ; mais l'auteur de la *Mécanique céleste* a prouvé que cette origine est inadmissible : on a cru remarquer que cette lumière s'affaiblit quand le soleil a moins de taches, et qu'elle s'accroît quand il en a un plus grand nombre. Quelle que soit au reste la cause de cette lumière, il est cer-

---

(*) On a cherché depuis long-temps quelle pouvait être l'origine de la prodigieuse quantité d'électricité qui se manifeste dans l'air atmosphérique, soit par un temps calme et sous un ciel serein, soit pendant la durée des orages ou des autres phénomènes naturels qui composent la météorologie électrique. MM. *Lavoisier*, *Laplace*, et *Volta* firent des expériences qui laissèrent la question comme indécise. M. *Pouillet* à lu le 30 mai 1825, à l'Académie des sciences, deux mémoires sur ce sujet : le principal objet du second est 1°. de constater qu'à l'instant où deux corps qui étaient combinés, se séparent l'un de l'autre, il y a de l'électricité développée ; 2.° de faire voir par des expériences directes que cette vérité générale s'applique aux phénomènes qui se produisent spontanément dans la nature, tels que les décompositions de différentes sortes, et les évaporations soit à la surface de la mer, soit à la surface des végétaux, soit, en général, à la surface des liquides qui tiennent en dissolution des corps étrangers ; 3.° enfin de conclure que ces phénomènes deviennent une nouvelle source d'électricité.

tain que la matière qui nous la renvoie, est extrêmement rare; car on voit les plus petites étoiles au travers.

11.° *Des Trombes.*

Ce météore provient d'un nuage qui présente ordinairement la forme d'un cône renversé et dont la base adhère à d'autres nuages situés au-dessus de lui. Lorsque ce phénomène a lieu au-dessus de la mer, l'eau qui lui correspond, s'élève en formant un second cône droit dont l'axe est dans la même direction que celui du cône supérieur et dont le sommet coïncide avec celui du premier : on aperçoit dans l'intérieur un courant rapide ascendant et descendant. Les vents impétueux qui se déchaînent autour de ces cônes, jettent au loin l'eau qui s'en échappe de tous les côtés. Les marins font tous leurs efforts pour s'en éloigner ; ils essaient de les détruire à coups de canon. Sur la terre, ce météore, à la vérité plus rare, est accompagné d'éclairs et de tonnerre : il vomit de son sein la pluie, de gros arbres qu'il a arrachés au sol en le rasant; les meules de grain, etc. : s'il passe au-dessus d'une ville, il renverse les toits, les cheminées, les murailles, et force quelquefois les barres de fer, qui portent les girouettes. Tantôt s'élevant et s'abaissant rapidement, la trombe va comme par bonds et par sauts, et sillonne profondément le sol : d'autres fois, elle se maintient à une grande hauteur, et voyage majestueusement dans les airs. *Brisson* explique ainsi ce phénomène. Lorsqu'un nuage, fortement électrisé, se trouve à une petite distance de la terre, la partie la plus voisine est fortement attirée, et s'alonge en descendant vers le sol. Si le phénomène se passe sur mer, l'eau de la mer, étant aussi fortement attirée, s'élève sous la forme d'un second cône. A l'appui de cette explication, il suspendit au-dessus de la surface de l'eau, un tube métallique qu'il fit communiquer avec le conducteur d'une machine électrique; lorsque le tube se trouvait fortement électrisé, l'eau s'élevait sous la forme d'un petit cône vers le tube, jusqu'à ce qu'il en partit une étincelle qui mettait fin au phénomène.

Pour mieux fixer les idées sur les effets de ce terrible phénomène, nous placerons ici la description d'une trombe qui a dévasté plusieurs communes du département de Calais, par M. *Demarquoy*, médecin à S.t-Omer, communiquée le 29 septembre 1823, à l'Académie des sciences de Paris, par M. *Duméril*.

Le 6 juillet 1822, à 1 heure 35′ de l'après-midi, dans la plaine d'Assonval, village situé à six lieues ouest-sud-ouest de S.t-Omer, des laboureurs durent quitter leur charrue à cause de l'obscurité, et par la crainte d'un orage dont ils étaient menacés : des nuages venant de différens points, se rassemblaient rapidement au-dessus de la plaine; bientôt ils n'en formèrent qu'un qui seul couvrait entièrement l'horizon. Un instant après, on vit descendre de ce nuage une vapeur épaisse, ayant la couleur bleuâtre du soufre en combustion, elle formait un cône renversé dont la base s'appuyait sur la nue : la partie inférieure du cône qui descendait sur la terre, offrit bientôt, en tournoyant avec une vitesse considérable, une masse oblongue de 30 pieds environ, détachée du nuage : elle s'éleva en faisant le bruit d'une bombe de gros calibre qui éclate, laissant sur la terre un enfoncement en forme de bassin circulaire, de 20 à 25 pieds de circonférence, et de 3 à 4 pieds de profondeur à son milieu. A peine éloignée de cent pas du point de départ, et dirigeant sa route de l'ouest à l'est, la trombe franchit la haie d'un manoir, y abat une grange, et donne à la maison plus solidement bâtie, une secousse semblable à celle qui résulterait d'un tremblement de terre : elle avait, en franchissant la haie, déchiré et emporté la couronne des arbres les plus forts; 25 à 30 arbres étaient renversés et couchés en sens divers, de manière à prouver que la trombe cheminait en tournoyant; d'autres furent enlevés et accrochés ainsi que plusieurs couronnes aux sommets des plus grands arbres (de 60 à 70 pieds). Après ces premiers effets, la trombe parcourut une distance de deux lieues, sans toucher à terre, en emportant de très-grosses branches d'arbres qu'elle vomissait à droite et à gauche avec bruit : arrivée à la pointe du bois de Franquembergue, elle y arracha de nouveau la tête de plusieurs chênes que l'on vit passer avec elle au-dessus du village de Vendôme, situé au pied de la colline du côté est de la forêt : la trombe ne fit dans cette commune d'autres ravages que celui d'enlever avec sa racine un sycomore très-gros qui fut retrouvé à la distance de 600 pas. Continuant sa route à la manière d'un boulet qui frappe la terre et se relève en ricochant, la trombe se porta au village d'Audinctum, où elle abattit la toiture de trois maisons et enleva plusieurs arbres, entre autres cinq ormes de très-grande hauteur, sortant d'une même souche. Au sortir de la vallée

où sont situés ces deux derniers villages, la trombe s'éleva sur une montagne dite *de Capelle* : plusieurs paysans qui labouraient, virent avec effroi ce phénomène extraordinaire traverser leurs habitations, et n'eurent pour échaper au danger, que le temps de se coucher, en se tenant fortement à leurs instrumens aratoires : ils remarquèrent avec étonnement que leurs chevaux étaient tristes, mais qu'ils ne s'effrayaient pas. Le soc d'une de leurs charrues fut enfoncé dans la terre assez fortement pour résister aux efforts de trois chevaux. La forme de la trombe était alors ovale; l'un des diamètres parut de 30 pieds, et l'autre de 20 : elle tournait dans sa marche, de manière à présenter chacune de ses faces à tous les points de l'horizon : il sortait de temps en temps de son centre des globes de feu, et souvent aussi des globes de vapeurs comme soufrées : les uns et les autres rejetaient dans divers sens des branches que le météore recélait dans son sein. Le bruit qu'il faisait dans sa marche rapide, ressemblait à celui d'une voiture pesante courant au galop sur un chemin pavé : à chaque jet d'un globe de feu ou de vapeur, on entendait une explosion semblable à celle d'un fusil, à ce bruit se joignait le sifflement terrible du vent impétueux qui règnait alors. Après avoir déchiré la terre, et dépouillé sa surface, la trombe s'éleva au-dessus du sol pour aller à une ou deux lieues de distance exercer d'autres ravages : elle pénétra enfin dans la vallée de Witernestre et de Lambre : dans le premier de ces villages, composé de 40 habitations, elle n'en laissa que huit intactes; trente-deux maisons avec leurs granges renversées, une énorme quantité d'arbres abattus, déchirés et emportés à une grande distance, signalèrent son passage. A Lambre, plusieurs personnes distinguèrent parfaitement la marche tournoyante du météore, sa couleur d'un brun soufré, et le foyer du feu ardent d'où sortaient des éclats de vapeurs bitumineuses : d'ailleurs les arbres furent cassés et déracinés; le mur et le toit de la maison du curé enlevés; dix-huit maisons, la plupart en briques, sapées à leur fondation. Heureusement dans ce grand désastre, personne n'a péri.

Le 26 août 1823, il se manifesta près du village de Boncourt (conton d'Anet), une trombe dont la base était appuyée sur le sol et dont le sommet se perdait dans les nues; elle était formée d'une

vapeur épaisse et noirâtre au milieu de laquelle on appercevait souvent des flammes.

Le 16 septembre, même année, vers cinq heures du matin, la pluie commença dans les communes de Quigliano et de Valeggia, province de Savone, et bientôt elle devint considérable : vers midi on vit sortir d'une montagne située dans la paroisse de Valeggia, un épouvantable tourbillon de fumée noire et de feu : cette trombe se portant du côté opposé à la montagne dite Magliolo, traversa la rivière dont elle absorba les eaux en un instant.

Le 19 mars, même année, dit un voyageur parti de New-York, nous étions en calme complet, lorsque nous entendîmes le bruit d'une trombe d'eau qui montait vers un gros nuage qui se trouvait précisément au-dessus de sa base ; elle approchait de nous avec une grande rapidité, lorsque des coups de fusils tirés en l'air, rompirent subitement la colonne au-dessous de son centre ; alors la partie inférieure retomba dans la cavité qu'elle avait formée en s'élevant, tandis que l'autre moitié continua de monter vers le nuage : on croit qu'elle était éloignée d'un mille et qu'elle avait cinquante pieds de diamètre.

Suivant M. *Dutertre,* les trombes sont formées par la rencontre de deux courans électriques de fluides différens.

12.° *Le Mirage.*

Les marins avaient observé depuis long-temps que, dans certaines circonstances, les objets tels qu'un vaisseau apperçu dans le lointain, offrent deux images : l'une les représente dans leur situation naturelle; l'autre dans une situation renversée. Le même phénomène s'observe encore dans les plaines très-étendues, à peu près de niveau, qui s'étendent jusqu'à l'horizon apparent et dont la surface est considérablement échauffée par les rayons du soleil, comme il arrive en plusieurs endroits des côtes de l'Océan et de la Méditerranée, et surtout dans les plaines sablonneuses de la Basse-Egypte. Le soir et le matin, l'aspect du pays y est tel que le comportent et la disposition réelle des objets et leur éloignement : mais lorsque la surface du sol s'est échauffée par la présence du soleil, le terrain semble terminé à une certaine distance par une inondation générale; les villages qui se trouvent au-delà, paraissent comme des îles situées au milieu d'un grand lac : sous chaque

village, on voit son image renversée, comme elle paraîtrait effectivement dans l'eau : à mesure que l'on approche, les limites de cette inondation apparente s'éloignent, le lac imaginaire se retire, enfin il disparaît entièrement et l'illusion se reproduit pour un autre village plus éloigné. Ce phénomène du doublement et du renversement des images, a été nommé *mirage*. *Monge* l'a expliqué d'une manière très-satisfaisante dans le 1.er volume de la *Décade Égyptienne*, et, dans le même temps, M. *Wollaston* a donné la même explication dans les *Transactions philosophiques*. Ce dernier physicien a produit le même phénomène artificiellement sur une plaque de fer rouge, et l'a aussi observé sur des corps qui étaient vus à travers deux fluides de refringences différentes, superposés dans un vase transparent. M. *Jurine* a observé le même phénomène, mais produit par le rechauffement de l'air sur les pentes des montagnes : on lui a donné le nom de *suspension*. La lune se lève quelquefois après-midi, et par conséquent dans un moment où les circonstances sont encore favorables au mirage : si alors on peut l'appercevoir à son lever, on verra deux images de cet astre. On observe sur mer un phénomène semblable à l'égard du soleil. On retrouve donc ici les *paraselènes* et les *périhélies* dont il a été question précédemment.

Un jour M. *Ramond*, se trouvant sur le Pic du midi, au sommet des Pyrénées, fut témoin d'un singulier spectacle ; son ombre et celles de deux personnes qui l'accompagnaient, se dessinèrent sur un nuage situé à peu de distance au-dessus d'eux, avec une netteté et une correction de contours surprenans ; et, ce qui est plus extraordinaire, ces ombres étaient entourées d'auréoles resplendissantes des plus vives couleurs. Témoin de ce magnifique spectacle, dit M. *Ramond*, on aurait cru assister à son apothéose. Plusieurs naturalistes, entre autres *Bouguer* et les fils de *Saussure*, ont joui de la vue de ce phénomène ; mais aucun n'avait observé cette netteté de forme qui ne peut s'expliquer que par le poli de la surface du nuage, sur laquelle l'ombre se projetait. Ce phénomène comme plusieurs autres, est inexpliqué jusqu'ici. M. *Ramond* a encore remarqué qu'à cette élévation, une lentille d'un très-petit diamètre, suffit pour enflammer des corps qu'une lentille d'un diamètre double, échaufferait à peine dans les lieux bas. Enfin le même physicien a reconnu que les couleurs avaient sur le sommet des hautes montagnes, beaucoup plus de vivacité que dans

les plaines. (Mémoire de M. *Ramond*, lu à l'Acad. des sciences de Paris, le 16 janvier 1826.)

13.° *Des Aërolithes.*

Le nom d'*Aërolithe* signifie *pierre de l'air :* on a douté long-temps de leur chute, parce qu'on regardait comme un préjugé populaire, l'opinion qui en attestait la réalité; mais le fait a été constaté de manière à ne laisser aucun doute sur son existence. Ces masses sont amenées sur la terre par des météores que l'on nomme *Bolides* ou *globes de feu*, qui paraissent tout-à-coup dans l'atmosphère, et s'y meuvent avec une extrême rapidité; car leur vitesse y est quelquefois égale à celle de la terre dans son orbite : après avoir brillé d'un éclat très-vif pendant quelques instans, ils éclatent avec un très-grand bruit, à une très-grande hauteur; du reste, ils ne paraissent affecter aucune direction déterminée. L'analyse chimique de ces pierres donne toujours les mêmes substances et presque dans les mêmes proportions : elles sont composées de *silice*, de *magnésie*, de *soufre*, de *fer à l'état métallique*, de *nickel* et de quelques parcelles de *chrome*. On observe que le fer ne se rencontre jamais ou presque jamais à l'état métallique dans les corps terrestres, que le nickel est très-rare, qu'il ne se trouve jamais à la surface de la terre et que le chrome est plus rare encore. On a cru d'après cela que ces météores n'ont pas une origine tellurique. L'auteur de la *Mécanique céleste* a pensé que ces masses pouvaient être jetées sur la terre par des volcans lunaires : celui de la *Mécanique analytique* suppose que les aërolithes sont lancés principalement par des volcans situés dans les régions polaires, et qui produisent en même-temps les *aurores boréales*, lesquelles, suivant les observations consignées dans les Mémoires de l'Académie de Stockholm, sont souvent accompagnées de tremblemens de terre dans le nord. Le fer natif renfermé dans l'intérieur des aërolithes, indiquerait qu'ils viennent de l'intérieur de la terre où les minéraux peuvent conserver leur état primitif. D'autres physiciens pensent que ces aërolithes ne sont que de petites planètes ou des fragmens de planètes qui circulent dans l'espace, à la manière des autres corps célestes, et qui se trouvant engagées dans l'atmosphère de la terre, s'y enflamment par le frottement qu'ils éprouvent, y perdent peu à peu leur vitesse, et tombent enfin vers la terre par le fait de leur pesanteur : sous ce point

de vue, ces météores auraient une origine cosmique; ils entreraient dans notre atmosphère à de très-grandes hauteurs, mais avec une vitesse suffisante pour la traverser, en sorte qu'ils ne feraient que s'enflammer en passant.

Chute de pierres ou de fer, avant le commencement de notre Ère (*).

? 1478 ans avant notre ère, en Crète, la pierre de foudre dont parle *Malchus*, probablement regardée comme symbole de Cybèle. *Chronique de Paros*, lignes 18 et 19.

(La pluie de pierres dont parle *Josué*, n'était peut-être que de la grêle).

1200. Pierres conservées à *Orchomenos. Pausanias.*

? 1168. *Une masse de fer* sur le mont Ida, en Crète. *Chronique de Paros*, ligne 22.

? 705 ou 704. L'Ancyle, *probablement une masse de fer*, à peu près de la même forme que celle du Cap d'Agram. *Plutarque.*

654. Pierres sur le mont Alban. Liv. I, 30.

644. En Chine. *De Guignes.*

465. A Ægopotamos. *Plutarque, Pline et autres.*

Une pierre près de Thèbes. *Scholiaste de Pindare.*

211. En Chine. *De Guignes et histoire générale de la Chine.*

De 205 à 206. Pierres ignées. *Plutarque, Fab. Max.* c. 2.

192. En Chine. *De Guignes.*

176. Une pierre dans le lac de Mars. Liv. XLI, 3.

90 ou 89. *Lateribus coctis pluit. Pline et Jul. obs.*

89. En Chine. *De Guignes.*

56 ou 52. Fer spongieux, en Lucanie. *Pline.*

? 46. Pierres à Acilla. *César.*

38, 29, 22, 19, 12, 9, 6. Chutes de pierres en Chine. *De Guignes.*

Pierres tombées à des époques qu'on ne peut pas déterminer.

La mère des dieux tombée à Pessinus.

L'Elagabal, à Emisa en Syrie.

(*) Dans ce catalogue rectifié et complété par M. *E. F. F. Chladni*, le signe ? indique les chutes que cet habile physicien ne considère pas comme parfaitement constatées.

La pierre conservée à Abydos, et celle de Cassandria. *Pline.*

? La pierre noire et encore une autre qui se trouvent dans la Caaba de la Mecque.

(La pierre conservée dans le siége de couronnement des rois d'Angleterre, n'est pas, comme on l'avait pensé, une pierre météorique.)

Chutes de pierres ou de fer, après le commencement de notre Ère.

Dans les années 2, 106, 154, 310 et 333, des pierres tombèrent à la Chine. *Abel-Rémusat,* Journ. de Phys., mai 1819.

(La prétendue pierre tombée du ciel en 416, à Constantinople, dont *Sethus Calvisius* fait mention dans son *Op. Chronolog.,* n'était qu'une pierre de la grande colonne de Constantin, qui, par sa chute, avait endommagé le piédestal).

.... Une pierre dans le pays des Vocontins. *Pline.*

452. Trois grandes pierres en Thrace. *Cedrenus* et *Marcellinus.*

VI.e siècle. Pierres sur le mont Liban, et près Emisa en Syrie. *Damascius.*

? 570 (à peu près). Pierre près Bender, en Arabie. *Le coran,* VIII, 16; CV, 3 et 4, et les Commentateurs.

616. Pierres en Chine. *Abel-Rémusat.*

? 648. Une pierre ignée à Constantinople. *Quelques chroniques.*

839. Pierres dans le Japon. *Abel-Rémusat.*

852, en juillet ou août. Une Pierre dans le Tabaristan. *De Sacy* et *Quatremère.*

856, en décembre. Cinq pierres, en Egypte. *Les mêmes.*

885. Pierres dans le Japon. *Abel-Rémusat.*

897. A Ahmed-Dad. *Quatremère,* suivant le *Chron., Syr.,* en 892.

921. De grandes pierres à *Narni. Chronique manuscrite* du moine *Benedictus de Saint-Andrea,* qui se trouve dans la bibliothèque du prince Chigi à Rome.

951. Une pierre à Augsbourg. *Alb. Stad* et autres.

998. Pierres à Magdebourg. *Cosmas* et *Spangenberg.*

1009, ou peu de temps après; MASSE DE FER dans le Djorjan. *Avicennes.*

(On a estropié le nom en *Lurgea et Cordova.*)

1021, entre le 24 juillet et le 21 août, pierres en Afrique. *De Sacy.*

1057. Une pierre en Corée. *Abel-Rémusat.*

1112. Pierres ou FER, près Aquileja. *Valvasor.*

1135 ou 1136. Une pierre à Oldisleben. *Spangenberg* et autres.

1164. A la fête de Pentecôte, FER en Misnie. *Geog. Fabricius.*

1249, 26 juillet, pierres à Quedlinbourg, etc. *Spangenberg* et *Rivander.*

? XIII.e siècle. Une pierre à Wurzbourg. *Schotti phys. Cur.*

Entre 1251 et 1363. Pierres à Welikoi-Ustiug, en Russie. *Ann. de Gilbert,* tome XXXV.

? 1280. Une pierre à Alexandrie, en Egypte. *De Sacy.*

1300, environ. De grandes pierres en Aragon, d'après une *chronique manuscrite,* conservée dans le Musée national de Pest, en Hongrie, faisant la continuation de celle de *Martinus Polonus.*

1304, 1.er octobre. Pierres à Friedland, ou Friedberg. *Kranz* et *Spangenberg.*

1328, 9 janvier. Dans le Mortahiah et Dakhaliah. *Quatremère.*

? 1368. Dans le pays d'Oldembourg, UNE MASSE DE FER. *Siebrand Meyer.*

1379, 26 mai. A Minde, en Hanovre. *Lerbecius.*

1421. Une pierre dans l'île de Java. *Sir Thomas Stamford Raffles,* vol. II, pag. 137.

? 1438. Pierres spongieuses, à Roa. *Proust.*

? .... Une pierre près Lucerne. *Cysat.*

1474, près Viterbo, deux grandes pierres. *Biblioteca Italiana,* tome XIX (septembre 1820), pag. 461.

1491, 22 mars. Pierre près de Crema. *Simoneta.*

1492, 7 novembre. A Ensisheim.

1496, 26 ou 28 janvier. Pierres à Cesena, etc. *Buriel* et *Sabellicus.*

1511, Vers le milieu de septembre. Grande chute de pierres à Créma. *Giovani del Prato* et autres.

1516, en Chine. Deux pierres. *Abel-Rémusat.*

1520, en mai. Pierres en Aragon. *Diego de Sayas.*

? 1528. De grandes pierres à Augsbourg. *Dresseri Chron. Saxon.*

? 1540, 28 avril. Une pierre dans le Limousin. *Bonav. de Saint-Amable.*

1540 à 1550. MASSE DE FER dans la forêt de Naunhoff. *Albinus*

Meisniche Bergchronik (c'est-à-dire, Chronique des mines de Misnie).

.... Fer en Piémont. *Mercati* et *Scaliger*.

1552, 19 mai. Pierres en Thuringe. *Spangenberg.*

1559. Pierres à Miskolz, en Hongrie. *Isthuanfi, dans son Historia Hungariæ.*

1561, 17 mai. A Torgau et Eilenbourg (exprimé par *Arcem Juliam*). *Gesner* et *de Boot.*

1580, 27 mai. Pierres près Gottingue. *Bange.*

1581, 26 juillet. Pierre en Thuringe. *Binhard, Olearius. p.*

1583, 9 janvier. A Castrovillari. *Costo, Mercati, et Imperati.*

1583, 2 mars. En Piémont. *Mercati.*

1596, 1 mars. Pierres à Crevalcore. *Mittarelli.*

.... Dans le même siècle. Une pierre dans le royaume de Valence. *Cæsius* et les *Jésuites de Coimbra.*

1518, en août, grande chute de pierres en Stirie. *Fundgruben der Orients.* (Mines de l'Orient, par M. *de Hammer.*)

1618. Masse métallique, en Bohême. *Kronland.*

1621, 17 avril Masse de fer près Lahore. *Jean Guir.*

1622, 10 janvier. Pierre en Devonshire. *Rumph.*

1628, 9 avril. Près Hatford, en Berkshire. *Gentlem. Magaz.*

1634, 27 octobre. Pierres en Charollais. *Morinus.*

? 1635, 7 juillet. Pierre à Calce. *Valisnieri.*

1636, 6 mars. En Silésie. *Lucas* et *Cluverius.*

1637 (pas 1627), 29 novembre. En Provence. *Gassendi.*

1642, 4 août. En Suffolk. *Gentlem. Magaz.*

? 1643 ou 1644. Pierres en mer. *Wurfbain.*

1647, 18 février. Une pierre près Zwickau. *Schmid.*

1647, en août. Pierres en Westphalie. *Ann. de Gilbert.*

Entre 1647 et 1654. Une masse en mer. *Willmann.*

1650, 6 août. Une pierre à Dordrecht. *Senguerd.*

1654, 30 mars. Pierres dans l'île de Fune. *Bartholinus.*

.... A Varsovie, une grande pierre. *Petr. Borellus.*

.... A Milan, une petite pierre qui a tué un Franciscain. *Museum Septalianum.*

(La relation des pierres tombées en 1667, à Schiras, paraît fabuleuse).

1668, 19 ou 21 juin. Grande chute de pierres à Véronne. *Valisnieri, Montanari, Fr. Carli.*

1671, 27 février. Pierres en Suabe. *Annales de Gilbert,* tom. XXXIII.

1674, 6 octobre. Pierres près Glaris. *Scheuchzer.*

? Entre 1675 et 1677. Pierres près Copinsha. *Wallace et Gentlem. Magaz,* juillet 1806.

1677, 28 mai. Pierres à Ermendorf, qui probablement contenaient du cuivre. *Miso. nat. cur.* 1677, *app.*

1680, 18 mai. Pierres à Londres. *King.*

1697, 13 janvier. Près Sienne. *Soldani,* d'après *Gabrieli.*

1698, 19 mai. Pierre à Waltring. *Scheuchzer.*

1706, 7 juin. Pierre à Larisse, *Paul Lucas.*

1715, 11 avril. Des pierres non loin de Stargard, en Poméranie. *Ann. de Gilbert,* tom. LXXI, page 215.

1722, 5 juin. Pierres près Scheftlar, en Freisinge. *Meichelbeck.*

1723, 22 juin. A Plescowitz. *Rost* et *Stepling.*

(La prétendue chute de métal, en 1731, à Lessay, n'était qu'une phosphorescence électrique des gouttes de pluie; car dom Stalley ne dit pas : Il tombait des gouttes de métal embrasé et fondu, mais il tombait *comme* des gouttes, etc.)

1727, 22 juillet. Chute près de Liboschitz, en Bohême. *Stepling.*

1738, 18 août. Près Carpentras. *Castillon.*

1740, 25 octobre. Pierres à Rasgrad. *Ann. de Gilbert, tom.* L.

1740 et 1741, en hiver. Une grande pierre en Groënland *Egede.*

? 1743. Pierre à Liboschitz. *Stepeling.* (Peut-être la même qui est indiquée à l'année 1723.)

1750, 1.er octobre. Pierre près Coutances. *Huard* et *Lalande.*

1751, 26 mai. Fer à Hradschina, près Agram.

1753, 3 juillet. Pierres à Tabor. *Stepling* et *Mayer.*

1753, en septembre. A Laponas. *Lalande* et *Richard.*

1755, en juillet. Pierre en Calabre *Domin. Tata.*

1766, en juillet. A Alboreto, *Troili.*

? 1766, 15 août. A Novellara. *Troili.* (Peut-être une pierre fondue la foudre.)

1768, 13 septembre. Pierre à Lucé. *Mémoire de l'Acad.*

.... Une pierre à Aire *Mém. de l'Acad.*

1768, 20 novembre. Pierre à Maurkirchen. *Imhof.*

1773, 17 novembre. Pierre à Séna, en Aragon. *Proust.*

1775, 19 septembre. Près Rodach, en Cobourg. *Ann. de Gilbert,* tom. XXIII.

1775 ou 1776. Pierres à Obruteza en Volhynie. *Ann. de Gilbert,* tome XXXI.

1776 ou 1777, en janvier ou février. Près Fabbriano. *Soldani* et *Amoretti.*

1779. Pierres à Pettiswood, en Irlande. *Gentlem. Magaz.*

1780, 1.er avril. Près Beeston, en Angleterre. *Lloyd's Evening-Post.*

1780, environ. Des MASSES DE FER dans le territoire de Kinsdale, entre West-River Mountain et Connecticut. *Quarterley Review,* n.° LIX, avril 1824.

1782. Pierre près de Turin. *Tata* et *Amoretti.*

1785, 19 février. Pierres à Eichstaedt. *Pickel* et *Stutz.*

1787, 1.er octobre. Dans la province de Charkow, en Russie. *Ann. de Gilbert,* tom. XXXI.

1790, 24 juillet. Grande chute à Barbotan, etc.

1791, 17 mai. Pierres à Castel-Berardenga. *Soldani.*

1791, 20 octobre. A Menabilly, en Cornwallis. *King.*

1794, 16 juin. Aux environs de Sienne.

1795, 13 avril. À Ceylan. *Le Beck.*

1795, 13 décembre. Pierre en Yorkshire.

1796, 4 janvier. Près Bélaja-Zerkwa, en Russie. *Ann. de Gilbert,* tom. XXXV.

1796, 19 février. En Portugal. *Southey.*

1798, 8 ou 12 mars. A Sales. *De Drée,* etc.

1798, 19 décembre. Pierres au Bengale. *Howard, Valentia.*

1801, Sur l'île des Tonnelliers. *Bory de Saint-Vincent.*

1802, en septembre. Pierres en Écosse. *Monthly-Magazine,* octobre 1802.

1803, 26 avril. Pierres aux environs de l'Aigle.

1803, 4 juillet. A East-Norton. *Phil. Mag. et Bibl. Brit.*

1803, 8 octobre. Une pierre près d'Apt.

1803, 13 décembre. Près Eggenfelde. *Imhof.*

1804, 5 avril. Près Glasgow. *Ph. Mag. et Bib. Brit.*

De 1804 à 1807. A Dordrecht. *Van Beck-Calkoen.*

1805, 25 mars. Pierres à Doroninsk, en Sibérie. *Ann. de Gilbert.* tome XXIX et XXXI.

1805, en juin. Pierres à Constantinople. *Kougas-Ingigian.*

1806, 13 mars. A Alais.

1806, 17 mai. Pierre en Hantshire. *Monthly Mag.*

1807, 13 mars. Près Timochin, en Russie. *Ann. de Gilbert.*

1807, 14 décembre. Pierres près de Weston, en Connecticut.

1808, 19 avril. A Borgo San-Donino *Guidotti et Sgagnoni.*

1808, 22 mai. Près Stannern, en Moravie.

1808, 3 septembre. A Lissa, en Bohême. *De Schreibers.*

? 1809, 17 juin. En mer, près de l'Amérique septentrionale. *Médic. Reposit. et Bibl. Brit.*

1810, 30 janvier. Dans Caswell, en Amérique. *Phil. Mag. et Médical, Reposit.*

1810, en juillet. Une grande pierre à Shabad, dans l'Inde. Le météore a causé de grands dégâts. *Phil. Mag.*, tom. XXXVII.

1810, en août. Une pierre dans le comté de Tipperary en Irlande. William Higgins en a publié l'analyse.

1810, 23 novembre. Pierres à Charsonville, près d'Orléans.

1811, 12 — 13 mars. Une pierre dans la province de Pultawa, en Russie. *Ann. de Gilbert,* tome XXXVIII.

1811, 8 juillet. Pierres à Berlanguillas.

1812, 10 avril. Près Toulouse.

1812, 15 avril. Une pierre à Érxleben. *Ann. de Gilbert,* tomes XL et XLI.

1812, 5 août A Chantonay. *Brochant.*

1813, 14 mars. Pierres à Cutro, en Calabre, pendant la chute d'une grande quantité de poussière rouge. *Bibl. Britan.*, octobre 1813.

? 1813, en été. Beaucoup de pierres près Malpas, non loin de Chester. *Thomson Ann. of Philosophy.* nov. 1813 (La relation ne me paraît pas digne d'une entière confiance, parce qu'elle est anonyme, et surtout parce qu'il n'y a pas eu d'autres notices de cet événement.)

1813, 10 septembre. Pierres près Limerick, en Irlande. *Phil. Mag.* et *Gentlem. Mag.*

1813, 13 décembre, d'après Nordenskiold (Annales de Chimie, tome XXV, pag. 78), ou :

1814, en mars, d'après un rapport communiqué à l'Académie de Pétersbourg. Pierres aux environs de Lontalax et Sawitaipal, non loin de Wiborg, en Finlande. Ces pierres ne contiennent pas de nickel.

.... (M. Murray fait mention dans le Phil. Mag., juillet 1819, page 39, d'une pierre tombée à Pulrose, dans l'île de Man, sans préciser la date; il dit que l'événement est certain et que la pierre était très-légère et semblable à une scorie : elle devait donc ressembler aux pierres tombées en Espagne, en 1438.)

1814, 3 février. Pierre près Bacharut, en Russie. *Ann. de Gilbert,* tome L.

1814, 5 septembre. Pierre près d'Agen.

1813, 5 novembre. Dans Doab, aux Indes. *Phil. Mag., Bibl. Brit., Journal of Sciences.*

1815, 18 février. Une pierre à Duralla, aux Indes. *Philos. Magazine,* août 1820, page 156.

1815, 3 octobre. A Chassigny, près de Langres. *Pistollet. Ann. de Chimie.*

1816, Pierre à Glastonbury, en Sommersethire. *Phil. Mag.*

? 1817, entre le 2 et le 3 mai. Probablement des masses sont tombées dans la mer Baltique : après l'apparition d'un grand météore à Gothembourg, on a vu, à Odensée, une pluie de feu descendre très-rapidement vers le S. E. *Journaux Danois.*

? 1818, 15 février. Une grande pierre paraît être tombée à Limoges, dans un jardin au Sud de la ville. Après l'explosion d'un grand météore, une masse qui tomba fit dans la terre une excavation d'un volume égal à celui d'une grande futaille. *Gazette de France, et Journal du Commerce,* du 25 février 1818.

(Il aurait fallu, et il serait encore convenable de déterrer la masse.)

1818, 30 mars. Une pierre près de Zaborzyca, en Volhynie (analysée par M. Laugier. *Ann. du Muséum,* 17.e année, 2.e cah.)

1818, 10 août. Une pierre est à Slobotka, dans la province de Smolensk, en Russie, *d'après plusieurs journaux.*

1819, 13 juin. A Jonzac, département de la Charente-Inférieure. Ces pierres ne contiennent pas de nickel.

1819, 13 octobre. Pierres près de Politz, non loin de Géra ou Kostritz, dans la principauté de Reuss. *Annales de Gilbert*, tome LXIII.

? 1820, entre le 21 et le 22 mars, dans la nuit, à Vedenburg, en Hongrie, *Hesperus*, tom. XXVII, cah. 3.

1820, 12 juillet. Pierres près de Likna, dans le cercle de Dunaborg, province de Witepsk, en Russie. *Théodore Grotthus. Ann. de Gilbert*, tome LXVII.

1821, 15 juin. Pierres près de Juvenas. Elles ne contiennent pas de nickel.

1822, 3 juin. A Angers. *Ann. de Chimie.*

1822, 10 septembre. Près Carlstadt, en Suède.

1822, 10 septembre. Près la Baffe, canton d'Épinal, département des Vosges. *Ann. de Chimie.*

1823, 7 août. Près Nobleboro, en Amérique. *Silliman's Américan Journ.*, tome VII.

1824, vers la fin de janvier. Beaucoup de pierres près Arenazzo, dans le territoire de Bologna. Une d'elles pesant 12 livres, est conservée dans l'Observatoire de Bologne. *Diario di Roma.*

1824, au commencement de février. Grande pierre dans la province d'Irkutsk, en Sibérie. *Quelques journaux.*

1824, 14 octobre. Près Zébrak, cercle de Béraun, en Bohême. La pierre est conservée au Muséum national de Prague.

Masses de fer auxquelles on peut attribuer une origine météorique.

Les masses de fer, probablement météoriques, se distinguent par la présence du nickel, par leur tissu, par leur malléabilité et leur gisement isolé. Quelques-unes de ces masses, sont *spongieuses* ou *cellulaires;* les cavités se trouvent remplies d'une substance pierreuse, semblable au péridote. Dans ce nombre il faut ranger :

La masse trouvée par Pallas, en Sibérie, dont les Tartares connaissaient l'origine météorique.

? Un morceau trouvé entre Eibenstock et Johanngeorgenstadt.

Une masse conservée dans le cabinet impérial de Vienne, provenant peut-être de la Norwège.

Une petit masse, pesant quatre livres, qui se trouve maintenant à Gotha.

D'autres masses sont solides. Le fer consiste alors en rhomboïdes ou en octaèdres, composés de couches ou feuilles parallèles.

La seule chute connue de masses de ce genre, est celle qui eut lieu à Agram, en 1751.

Quelques autres masses semblables ont été trouvées :

Sur la rive droite du Sénégal. *Compagnon, Forster, Golberry.*

Au Cap de Bonne-Espérance. *Van Marum et de Dankelmann.*

Au Mexique, dans différens endroits. *Sonneschmidt, de Humboldt :* voyez aussi *la Gazeta de Mexico,* tome I et V.

Au Brésil, dans la province de Bahia. *Wollaston et Mornay.*

Dans la juridiction de Saint-Jago del Estero. *Rubin de Celis.*

A Elbogen, en Bohême. *Ann. de Gilb.* tome XLII et XLIV..

Près de Lénarto, en Hongrie *Ann. de Gilbert,* tom. XLIX.

Près de la rivière Rouge. La masse a été envoyée de la Nouvelle-Orléans à New-York. *Américan Mineralogical Journal,* vol. I. Le col. Gibbs l'a analysée et y a trouvé du nickel.

(Il y a encore d'autres masses semblables dans le même pays, d'après *The Minerva,* de New-York, 1824.

Aux environs de Bitbourg, non loin de Trèves. (Cette masse pèse 3300 livres ; elle contient du nickel. L'analyse faite par le colonel Gibbs, se trouve dans l'*American Mineralogical Journal.* vol. I.)

Près de Brahin, en Pologne. (Ces masses, d'après les analyses de M. Laugier, contiennent du nickel et un peu de cobalt.)

Dans la république de Colombie, sur la Cordillère orientale des Andes. *Boussingault et Mariano de Rivero. Annales de Chimie,* tome XXV.

A quelque distance de la côte septentrionale de la Baie de Baffin, dans un endroit nommé Sowallik. Il y a deux masses : l'une paraît être solide; l'autre est pierreuse et mêlée de morceaux de fer, dont les Esquimaux font des espèces de couteaux. Capit. Ross.

? Peut-être faut-il ranger dans cette classe, une grande masse d'environ 40 pieds de haut, qui se trouve dans la partie orientale de l'Asie, non loin de la source de la rivière Jaune, et dont les Mongols, qui l'appellent *Khadasutfilao,* c'est-à-dire, Roche du Pôle, disent qu'elle tomba à la suite d'un météore de feu. *Abel-Rémusat.*

Il existe des masses d'une *origine problématique*. De ce nombre sont :

Une masse d'Aix-la-Chapelle, qui contient de l'arsenic. *Ann. de Gilbert*, tome XLVIII.

Une masse trouvée dans le Milanais. *Ann. de Gilbert*, tome L.

La masse trouvée à Groskamsdorf, contenant, d'après *Klaproth*, un peu de plomb et de cuivre.

(Il paraît qu'on l'a fondue, et que les morceaux conservés à Freyberg et à Dresde, ne sont que de l'acier fondu qu'on a substitué aux fragmens de la masse primitive.)

Chutes de poussières et de substances molles, sèches ou humides.

Tout ce qu'on a observé dans ces chutes, nous fait présumer qu'elles ne diffèrent pas essentiellement des chutes de pierres. Quelquefois elles ont été accompagnées de chutes de pierres, comme aussi d'un météore de feu. Les poussières paraissent contenir à peu près les mêmes substances que les pierres météoriques : il semble qu'il n'y a d'autre différence que dans la rapidité avec laquelle ces amas de matière chaotique dispersée dans l'univers, arrivent dans notre atmosphère; mais dès-lors, ces substances doivent subir de plus ou moins grands changemens, suivant l'intensité de la chaleur que la compression développe dans l'air. Probablement dans la poussière rouge et noire, l'oxide de fer est la principale matière colorante. Dans la poussière noire, on trouvera sans doute aussi du carbone. Je regarde les pierres noires et très-friables, tombées à Alais en 1806, comme faisant le passage de la poussière noire aux météorolithes ordinaires, la chaleur n'ayant pas été suffisante pour brûler le carbone de ces pierres et pour fondre les autres substances.

L'an 472 de notre ère (suivant la chronologie de Calvisius, Plaifair, etc.), le 5 ou 6 novembre, grande chute de poussière noire (probablement aux environs de Constantinople); le ciel semblait brûler. *Procope* et *Marcellin* l'ont attribuée au Vésuve. *Menœa, Menolog. Græc. Zonaras, Cedrenus, Theophanes.*

652. A Constantinople, pluie de poussière rouge. *Theophanas, Cedrenus, Mathieu Eretz.*

743. Un météore et poussière dans différens endroits. *Theophanes.*

.... Au milieu du XI.[e] siècle. Poussière rouge et matière semblable

au sang coagulé. *Continuat. du Georg. Monachus, Kazwini, Elmazen.*

869. Pluie rouge pendant 3 jours, aux environs de Brixen. *Hadrianus Barlandus.* (Peut-être ce phénomène est-il le même que le précédent.)

929. A Bagdad, rougeur du ciel, et chute de sable rouge. *Quatremère.*

1056. En Arménie, neige rouge. *Matth. Eretz.*

1110. En Arménie, dans la province de Vaspouragan, en hiver, durant une nuit obscure, chute d'un corps enflammé dans le lac de Van. L'eau devint de couleur de sang, et la terre était fendue dans différents endroits. *Matth. Eretz.* (*Notices et extraits de la Bib.*, tom. IX.

1222 ou 1219. Pluie rouge aux environs de Viterbo. *Biblioth. Italiana,* tome XIX.)

1416. Pluie rouge, en Bohême. *Spangenberg.*

? .... Dans le même siècle, à Lucerne, chute d'une pierre et d'une masse semblable à du sang coagulé, avec apparition d'un dragon igné (ou météore de feu). *Cysat.*

1501. Pluie de sang dans différens endroits, suivant quelques chroniques.

1543. Pluie rouge, en Westphalie. *Suni Commentarii.*

1548, 6 novembre (probablement en Thuringe). Chute d'un globe de feu, avec beaucoup de bruit : on trouva ensuite sur le sol une substance rougeâtre, semblable au sang coagulé. *Spangenberg.*

1557. En Poméranie. Grandes plaques d'une substance semblable au sang coagulé. *Mart. Zeiler,* tome II, epist. 386.

1660. Jour de la Pentecôte, pluie rouge à Emden et à Louvain, etc., *Fromond.*

1560, 24 décembre. A Lillebonne, météore de feu et pluie rouge. *Natalis Comes.*

? 1582, 5 juillet. A Rockhausen, non loin d'Erfort, chute d'une grande quantité d'une substance fibreuse, semblable à des crins humains, à la suite d'une tempête horrible, analogue à celles qu'amènent les tremblemens de terre. *Michel Eapst.*

1586, 3 décembre. A Verde (en Hanovre), chute de beaucoup de

matière rouge et noirâtre, avec éclairs et tonnerre (météore de feu et détonnation). Cette matière brûlait les planches sur lesquelles elle tombait. *Manuscrit de Salomon*, sénateur à Brême.

1591. A Orléans, à la Madeleine, pluie de sang. *Lemaire.* (Ln).

1618, en août. Chute de pierres, météore de feu et pluie de sang, en Stirie. *De Hammer.*

1623, 12 août, à Strasbourg. Pluie rouge. *Elias Habrecht,* dans un mémoire imprimé à Strasbourg, en 1623.

1637, 6 décembre. Chute de beaucoup de poussière noire dans le golfe de Volo et en Syrie. *Phil. Transact.*, tom. I, pag. 377.

1638. Pluie rouge à Tournay.

1643, en janvier. Pluie de sang à Vachingen et à Weinsberg, suivant une *chronique manuscrite de la ville de Heilbronn.*

1645, 23 ou 24 janvier. A Bois-le-Duc.

1640, 6 octobre. Pluie rouge à Bruxelles. *Kronland* et *Wendelinus.*

1652, en mai. Masse visqueuse, à la suite d'un météore lumineux, entre Sienne et Rome. *Miscell. Acad. nat. curios. ann.* 9, 1690.

? 1665, 23 mars. Près Laucha, non loin de Naumburg, il tomba une substance fibreuse, comme de la soie bleue, en grande quantité. *Joh Praetorius.*

1678, 19 mars. Neige rouge, près de Gênes. *Philos. Trans.*, 1678.

1686, 31 janvier, près de Rauden, en Courlande, et en même temps en Norwège et en Poméranie. Une grande quantité d'une substance membraneuse, friable et noirâtre, semblable à du papier demi-brûlé. *Miscell. Ac. nat. cur. ann.* 7, *pro ann.* 1688 *in append.* (M. le baron *Théodore de Grotthus* a analysé une portion de cette substance, qui avait été conservée dans un cabinet d'histoire naturelle, et y a trouvé de la silice, du fer, de la chaux, du carbone, de la magnésie, une trace de chrome et de soufre, mais point de nickel.)

1689. Poussière rouge à Venise, etc. *Valisnieri.*

1711, 5 et 6 mai. Pluie à Orsion, en Suède. *Act. Lit Sueciæ,* 1731.

1718, 24 mars. Chute d'un globe de feu dans l'île de Lethy, aux Indes. On a trouvé ensuite une matière gélatineuse. *Barchewitz.*

1719. Chute de sable dans la mer Atlantique (*Lat. sept.* 45°, *longitude* 322° 45′), accompagnée d'un météore lumineux. *Mém. de l'Acad. des Sciences*, 1719, hist., page 23. (Il aurait fallu examiner ce sable avec plus d'attention.)

1721, vers le milieu de mars, Stoutgard. Météore et pluie rouge en grande quantité, d'après une notice écrite le 21 mars, par un conseiller *Vischer.*

1737, 21 mai. Chute de terre attirable à l'aimant, sur la mer Adriatique, entre Monopoli et Lissa. *Zanichelli,* dans les *Opuscoli di Calogera,* tome XVI.

1744. Pluie rouge à Saint-Pierre d'Arena, près de Gênes. *Richard.*

1755, 20 octobre, sur l'île de Getland, l'une des Orcades. Poussière noire qui n'était pas venue de l'Hécla. *Phil. Transact.*, vol. L.

1755, 13 novembre. Rougeur du ciel et pluie rouge dans différents pays. *Nov. act. nat. cur.*, tom. II.

1763, 9 octobre. Pluie rouge à Clèves, à Utrecht, etc. *Mercurio historico y politico de Madrid,* octobre, 1764.

1765, 14 novembre. Pluie rouge en Picardie. *Richard.*

1781, en Sicile. Poussière blanche qui n'était pas volcanique. *Gioeni, Phil. Trans.*, tom. LXXII.

1792, 27, 28 et 29 août sans interruption. Pluie d'une substance semblable à de la cendre, dans la ville de la Paz, au Perou. Ce phénomène ne pouvait pas être attribué à un volcan : on avait entendu des explosions, et vu le ciel tout éclairé. La poussière occasionna de grands maux de tête, et donna la fièvre à plusieurs personnes. *Mercurio Peruano,* tom. VI, 1792.

1796, 8 mars. On a trouvé en Lusace, après la chute d'un globe de feu, une matière visqueuse (1). *Ann. de Gilbert,* tome LV.

1803, 5 et 6 mars, en Italie. Chute de poussière rouge, sèche dans quelques lieux, et humide dans d'autres. *Opuscoli scelti,* tome XXII.

1811, en juillet, près Heidelberg. Chute d'une substance gélati-

---

(*) J'en possède une petite partie qui a la consistance, la couleur et l'odeur d'un vernis brunâtre fort desséché. Je crois qu'elle se compose surtout de soufre et carbone. MM. *Guyton Morveau* et *Blumenbach* en avaient aussi des portions.

tineuse, à la suite de l'explosion d'un méteore lumineux. *Ann. de Gilbert*, tome LXVI.

1813, 13 et 14 mars, en Calabre, Toscane et Frioul. Grande chute de poussière rouge et de neige rouge, avec beaucoup de bruit. Il tomba en même temps des pierres à Cutro, en Calabre. *Bibl. Brit.*, octobre 1813 et avril 1814.

(Sementini a trouvé dans la poussière : silice, 33; alumine, $15\frac{1}{2}$; chaux, $11\frac{1}{4}$; fer, $14\frac{1}{2}$; chrome, 1 ; carbone, 9. La perte était 15. Il paraît que Sementini n'a pas cherché la magnésie et le nickel.)

1814, 3 et 4 juillet. Grande chute de poussière noire au Canada, avec apparition de feu. L'événement était semblable à celui de 472. *Philos. Mag.* vol. XLIV.

1814. La nuit du 27 au 28 octobre, dans la vallée d'Onéglia, près de Gênes, pluie rouge. *Giornale di Fisica*, etc., tome I, page 32.

1814, 5 novembre. On a trouvé dans le Doab, aux Indes, que chaque pierre tombée était dans un petit amas de poussière. *Phil. Mag.*

1815. vers la fin de septembre, la mer, au sud des Indes, était couverte de poussière sur une très-grande étendue, probablement à la suite d'une pareille chute. *Phil. Mag.*, juillet 1816.

1816, 15 avril. Neige rouge dans différens endroits de la partie septentrionale de l'Italie. *Giornale di Fisica*, etc., tom. I, 1818, page 473.

1819, 13 août, à Amherst, en Massachusets. A la suite d'un météore lumineux, il tomba une masse gélatineuse et puante. *Siliman Journal. II*, 335.

1819, 5 septembre, à Studein, en Moravie, dans la juridiction de Teltsch, entre onze heures et midi, le ciel étant serein et tranquille, pluie de petits morceaux de terre, provenant d'un petit nuage isolé et très-clair. *Hesperus, novembre* 1819, et *Ann. de Gilbert.*, tome LXVIII.

1819, 5 novembre. Pluie rouge en Flandre et en Hollande. *Ann. générales des Sciences physiques.* (On a trouvé dans cette pluie du cobalt et de l'acide muriatique.)

1819, en novembre, à Montréal et dans la partie septentrionale des États-Unis. Pluie et neige noires, accompagnées d'un obscurcissement extraordinaire du ciel, de secousses comme durant un tremblement de terre, de détonnations semblables à des explosions d'artillerie et d'apparitions ignées, qu'on a prises pour des éclairs très-forts. *Ann. de Chimie,* tome XV. Quelques personnes ont attribué le phénomène à l'incendie d'une forêt; mais le bruit, les secousses, etc., montrent que c'était un véritable météore, comme ceux de 472, de 1637, de 1762 et de 1814 (au Canada). Il paraît que les pierres noires et friables, tombées à Alais, en 1806, étaient à-peu-près la même substance dans un état de coagulation plus avancé.

1821, 3 mai, à neuf heures du matin. Pluie rouge dans les environs de Giessen. M. le professeur *Zimmermann,* ayant analysé le sédiment brun-rougeâtre que cette pluie laissait, y a trouvé du chrome, de l'oxide de fer, de la silice, de la chaux, du carbone, une trace de magnésie et des parties volatiles, mais point de nickel.

1823, 13 août. Ville de Mendoza, dans la république de Buenos-Ayres. Poussière qui tombait d'un nuage noir. A une distance de 40 lieues, le même nuage se déchargea encore une fois. *Gazette de Buenos-Ayres,* du 1.er nov. 1824,

ADDITION.

Vers la fin de mars 1823 (Phil. Journ. Edimbourg, avril 1825, pag. 405), une averse de neige, tombée sur le Lochawe, dans l'Argileshire, étonna ou plutôt épouvanta ceux qui en furent les témoins. Quelques gentlemen qui avaient traversé le lac pendant la matinée, eurent l'occasion de remarquer ce phénomène. Le temps avait été très-beau durant toute la journée, et les voyageurs revenaient chez eux, lorsque tout-à-coup le ciel se couvrit, ce qui les engagea à se hâter; mais en quelques minutes, ils furent surpris par une averse de neige: bientôt le lac, leur bateau, leurs vêtemens et tous les environs présentèrent l'aspect d'une surface lumineuse, d'une immense couche de feu. Quoique tout le monde parût brûler, on n'éprouvait aucune sensation de chaleur: lorsqu'on portait

la main sur la neige fondue, la substance lumineuse y adhérait : la neige conserva cette propriété pendant douze ou quinze minutes. La soirée redevint calme, mais resta sombre. Plusieurs des habitans regardèrent ce phénomène comme le présage de quelque calamité qui devait affliger leur pays.

14.° *Des Étoiles filantes.*

Nous nous bornerons à citer ici quelques remarques sur les *étoiles filantes*, extraites d'un ouvrage de M. *Brandes*, imprimé à Leipsig, en 1820. Il résulte des observations faites par ce savant et par M. *Benzenberg* (Hambourg, 1800 et 1802), que ces météores se montrent à des hauteurs de un jusqu'à trente *milles;* qu'ils ont une vitesse de plusieurs milles par seconde, et qu'ils se dirigent dans tous les sens. Ces observations s'accordent avec celles des *Bolides* qu'on a vus aussi à des hauteurs de cinq, dix et d'un plus grand nombre de *milles*. D'autres observateurs sont parvenus aux mêmes résultats. Il paraîtrait donc que les étoiles filantes et les bolides auraient une commune origine et que cette origine serait cosmique; en sorte que ces corps ne feraient que traverser notre atmosphère, et qu'à raison de leur extrême vitesse, ils s'enflammeraient en passant. Ces météores laissent souvent derrière eux des étincelles ou traînées lumineuses qui n'ont point de vitesse propre. M. *Brandes* parle d'une étoile filante qui, le 23 octobre 1805, se fit remarquer par la longue apparition de sa queue qui se recourba en différens sens, et demeura visible pendant plusieurs minutes : long-temps après, on apercevait encore une faible lumière. Le célèbre voyageur *Krusenstern* et les physiciens qui l'accompagnaient, virent pendant plus d'une heure la traînée lumineuse qu'un bolide, aperçu le 10 octobre 1803, avait laissée derrière lui. On ne doit peut-être pas ranger parmi ces météores ceux qui se présentent comme des inflammations rapides et qui, sans se mouvoir d'une manière bien sensible, s'éteignent presqu'aussitôt. M. *Brandes* croit devoir les considérer de la même manière que les éclairs. On doit encore distinguer les étoiles filantes qui, sous une lueur vive, ne paraissent pas avoir de diamètre appréciable, et qui, sans laisser de traînée lumineuse, ressemblent à des étoiles fixes qui tombent. Ce physicien regrette qu'on n'ait pas plus d'observations sur les étoiles filantes, qui permettraient de prononcer avec plus d'assurance sur la nature de ces météores : il remarque

que ces sortes d'apparitions ont lieu plus fréquemment en hiver, et il assure en avoir vu pendant cette saison et dans l'intervalle de quelques heures, plus de 400 dans une même région du ciel, tandis qu'on en voyait sans doute plus de 2000 au-dessus de l'horizon. Quelques physiciens ont regardé le printemps comme la saison la plus favorable aux apparitions de ce météore, et M. *Brandes* lui-même cite des observations à l'appui de cette assertion (Corres. phys. et math., tom. II, pages 104, 167 et 227). M. le professeur *Quetelet* auquel on doit les articles que nous venons de citer, est en possession d'une méthode à l'aide de laquelle il peut calculer avec facilité les hauteurs auxquelles ces phénomènes apparaissent ; déjà il a recueilli un grand nombre d'observations auxquelles il va appliquer son procédé, et il soupçonne d'après quelques hauteurs déjà obtenues, que ces météores se forment aux confins de notre atmosphère : cependant, ce n'est encore qu'une simple présomption que le calcul seul peut justifier, modifier ou infirmer.

15.° *Des Volcans et Tremblemens de terre.*

On sait que les volcans sont des ouvertures dans l'écorce du globe, d'où il sort de temps en temps des jets de substances embrasées et des courans de matières fondues qui portent le nom de *laves* : ces ouvertures sont presque toujours sur le sommet de montagnes isolées; elles ont la forme d'un entonnoir, et prennent le nom de *cratère*. L'Europe et le continent de l'Asie n'offrent que très-peu de volcans brûlans : ceux de l'Amérique sont au nombre d'environ cinquante, situés en grande partie sur le dos de cette grande Cordillière qui borde la partie occidentale de ce nouveau continent; c'est dans le Pérou que sont les plus considérables ; il y en a sept parmi lesquels nous citerons le *Pichinca*, élevé de près de 5000 mètres, le *Cotopaxi* de 5750 mètres et l'*Antisana* de 6000 mètres. Le *Chimboraco* ou *Chimborazo* (Pérou) de 6530 mètres, est un volcan éteint. M. *Ordinaire* compte en totalité 205 volcans brûlans : 107 sont dans les îles, et 98 sur les continens, mais le long des côtes : les plus éloignés de la mer sont ceux de l'Amérique. L'intérieur de nos continens, renferme un grand nombre de *volcans éteints*. Les mugissemens et les bruits souterrains, l'apparition ou l'augmentation de la fumée qui sort du cratère, sont les premiers symptômes des crises volcaniques : bientôt le bruit devient plus fort, la terre trem-

ble, elle éprouve des secousses et tout annonce qu'elle est en travail; la fumée redouble, elle s'épaissit et se mélange de cendres : lorsque l'air est tranquille, on la voit s'élever sous la forme d'une immense colonne à une très-grande hauteur; d'autres fois, elle se disperse dans les airs, elle y forme d'immenses et d'épais nuages qui couvrent de ténèbres toute la contrée d'alentour; ces nuages sont souvent traversés par d'énormes jets de sables embrasés; quelquefois ils sont sillonnés par des éclairs et paraissent lancer la foudre: bientôt arrivent des projections de pierres incandescentes et de masses en fusion. Au milieu de ces convulsions, la matière fondue qui remplissait les fournaises souterraines, déjà portée dans l'intérieur de la montagne, y est soulevée, elle y monte jusque dans le cratère, elle le remplit, et débordant par-dessus la partie la moins élevée de cette énorme coupe, elle se répand sur les flancs du volcan : très-souvent les parois qui la contiennent, ne pouvant résister à son immense pression ou à sa chaleur, cèdent et s'entr'ouvrent; la lave jaillit en torrent impétueux par cette nouvelle issue : après un instant de repos, un nouvel accès souvent plus terrible encore se reproduit; enfin la crise cesse. Un grand nombre de relations portent à plus de 100 lieues les nuages de cendres vomis par les volcans d'Asie et d'Amérique. Les volcans lancent quelquefois des pierres qui ne portent aucun indice de fusion, et qui vraisemblablement sont des fragmens détachés des parois des cavités intérieures. Le gigantesque Cotopaxi a porté à trois lieues de distance un quartier d'environ 100 mètres cubes: on a cherché à évaluer l'intensité de la force qui *projette* ces matières volcaniques, force due à l'expansion des fluides élastiques, et on a trouvé qu'elle était moindre que celle d'un boulet au sortir du canon : par rapport au Pic de Ténériffe, on l'a estimée à 270 mètres par seconde. La lave est une substance pâteuse ou visqueuse; elle se meut et se refroidit avec lenteur; mais si la surface perd bientôt sa fluidité et sa haute température, il n'en est pas de même de son intérieur : on cite des courans qui coulaient encore dix ans après leur sortie du cratère; des laves fumaient encore vingt-six ans après l'éruption. En traversant sur l'Etna une lave qui ne coulait plus depuis onze mois, *Spallanzani* vit à travers les gerçures de sa surface qu'elle était encore rouge, et un bâton qu'il y enfonça prit feu à l'instant.

La position de tous les volcans en activité dans le voisinage de la mer, est un fait bien digne de remarque, il le devient encore da-

vantage, lorsqu'on observe qu'il y a des *volcans sous-marins*, brûlant dans le sein de eaux et donnant naissance à des îlots et à des îles dont la production subite est attestée par des témoignages non suspects.

L'histoire des éruptions volcaniques fait souvent mention de torrens d'eau et de boue, vomis par les volcans. *Bouguer* et *La Condamine* ont vu ces torrens raviner tout un pays : le dernier de ces savans rapporte que six heures après une éruption du Cotopaxi, un village situé à trente lieues de distance en ligne droite, et peut-être à soixante, en suivant les sinuosités du terrain, fut entièrement emporté (*). Dans le tremblement de terre qui renversa Lima, en 1746, quatre volcans s'ouvrirent à Lucanas, et occasionnèrent une affreuse inondation (**). Les volcans de Quito présentent souvent le même phénomène. Un volcan de Madagascar, lance, dit-on, une colonne d'eau assez forte et assez élevée, pour être vue de vingt lieues en mer (***). Il y a aussi des volcans d'air. Dans une éruption qui a eu lieu en 1822, le Vésuve a lancé une masse saline du poids de 15 kilogrammes, renfermant une quantité de sel marin si abondante que les pauvres de Naples et des environs, se sont empressés d'en faire provision pour leurs usages domestiques.

Nous croyons inutile de nous étendre en descriptions de tremblemens de terre, parce que ce genre de phénomènes est généralement assez connu des personnes mêmes qui ne lisent que les journaux. Nous nous bornerons donc à quelques considérations générales (****). C'est au milieu des volcans ou dans leur voisinage, c'est dans les pays volcanisés que les tremblemens de terre sont les plus nombreux et les plus violents. Le Pérou, le midi de l'Italie, l'Islande, les Canaries, les Antilles et les côtes qui en sont peu éloignées, en fournissent de continuels exemples. On a vu que les éruptions volcaniques sont habituellement accompagnées de tremblemens de terre : de nouveaux volcans se sont ouverts, de nouvelles montagnes volcaniques ont été produites au milieu des secousses des contrées voisines. De sorte qu'il

---

(*) Voyage à l'Équateur.

(**) *Antonio Ulloa*, Voyage en Amérique.

(***) *Ebel*, *Ueber den Baw der erde, etc.* Tom. II, pag. 289.

(****) Traité de Géognosie, de *J. F. D'Aubuisson de Voisins*, Tom. I, pag. 197.

y a un rapport intime et une étroite connexion entre les volcans et les tremblemens de terre : ce sont probablement les effets d'une même cause, des agens ou feux souterrains. On peut distinguer avec *Werner* deux espèces de tremblemens de terre : les uns paraissent tenir à un volcan particulier et avoir leur foyer dans la même région que lui ; ils ne se font guère ressentir qu'à quelques lieues de distance, et presque toujours leurs paroxismes sont liés avec ceux du volcan. Les autres qui paraissent avoir leur foyer à une bien plus grande profondeur, se propagent à des distances immenses avec une célérité incroyable : ils se font ressentir presqu'en même temps sur des points éloignés de mille lieues. Cependant quelques-uns de ceux-ci se rapprochent encore des premiers, et ils tiennent encore aux phénomènes volcaniques. C'est ainsi que lors du tremblement déjà cité, qui renversa Lima et qui fut un des plus terribles que l'on ait vus, il s'ouvrit quatre volcans dans une nuit et l'agitation de la terre cessa. On dirait que les fluides élastiques qui retenus et comprimés dans l'intérieur de la terre, y produisaient ces fortes secousses, s'étant ouvert une issue, se sont dégagés, et que la nature se trouve alors délivrée du mal qui la tourmentait. *Buffon* avait déjà fait cette remarque. On donne comme pronostic de ces grandes crises, la sortie des reptiles qui vivent habituellement sous terre ; l'agitation et les mouvemens extraordinaires des oiseaux ; les hurlemens de certains animaux ; le tarissement des sources et des puits ; des mugissemens souterrains, quelquefois très-forts et sans direction déterminée ; un bruit semblable à celui de plusieurs chars qui roulent sur un pont de pierre, etc. Cependant celui de Lisbonne, en 1755, arriva sans aucun de ces signes précurseurs. La mer est presque toujours fort agitée, et ce qui est remarquable, c'est que souvent l'atmosphère ne participe nullement à l'agitation de la croûte du globe et des eaux qui la recouvrent.

Dans un écrit ayant pour titre : *Relation du principal phénomène des météores ignés, observés dans le courant de* 1823, l'auteur *E. W. Brayley* décrit d'abord, d'après diverses autorités, des globes de feu contemporains de tremblemens de terre ; il fait ensuite remarquer la frappante affinité météorologique de certains météorites avec quelques produits de volcans ; enfin il infère de ces diverses circonstances et d'autres encore, que les agences qui font naître les phé-

nomènes volcaniques, quels que soient ceux-ci, et de quelque manière qu'elles opèrent, ne sont probablement pas étrangères à la production des météores ignés et des corps qui en descendent. Il recommande cet intéressant objet aux investigations des savans, en promettant de leur soumettre les résultats de ses recherches ultérieures à ce sujet. (Ann. of Phil. juny 1824, pag. 466). Nous dirons, à cette occasion, qu'on a vu des éclairs se terminer par des globes de feu, ainsi que des globes de feu n'ayant rien de commun avec les orages.

16.° *Sur la Phosphorescence de la mer.*

M. *Finlayson*, dans la relation de sa mission à *Siam* et à la *Cochinchine*, explique ainsi la cause de ce magnifique et singulier phénomène qui se manifeste dans les mers de l'Inde pendant la nuit. Sur plusieurs golfes et notamment dans la *rade de l'île du Prince de Galles*, les corps qui produisent ce phénomène, se rencontrent en si grande quantité, qu'on peut, à la distance de plusieurs milles, distinguer aisément un navire. Cette lumière n'est pas moins vive que celle d'une torche, et elle semble jaillir du sein des flots sillonnés par le gouvernail ou ouverts par les rames. Durant le jour, les vagues sont d'une couleur verdâtre semblable à celle de la couche végétale que l'on voit communément à la surface des étangs ou des mares d'eau croupissante. On s'est assuré que la couleur qui la distingue pendant le jour, et la lueur phosphorique qu'elle jette pendant la nuit, sont dues à la présence de la même substance. Les causes de ce phénomène lumineux, varient sur divers points de l'Océan. On sait que le poisson de mer, lorsqu'il est mort et qu'il entre en putréfaction, donne aux flots une lueur pareille à celle dont il est question; le frai du poisson produit aussi le même phénomène. En prenant de cette eau dans le creux de la main, on a reconnu que cette lumière était due au mouvement excessivement rapide d'une innombrable quantité de molécules visqueuses de la grosseur d'une tête d'épingle, lequel dure une ou deux secondes, après quoi il cesse ainsi que la lumière. Dans *un Essai sur la phosphorescence de l'eau de la mer* (Ann. Marit. et Colon., avril 1825, p. 364), M. *Artaud*, pharmacien, s'exprime ainsi : dans la nuit du 2 septembre 1820, la mer, devant St.-Pierre de la Martinique, parut tout-à-coup lumineuse : cette phosphorescence dura près d'un mois ; elle fut très-forte dans les nuits des 2, 3 et 4, les jours précédens ayant été beaux, secs

et très-chauds; les quatre jours suivans ayant été humides et pluvieux, la phosphorescence diminua. Du 9 au 12, le temps étant redevenu très-beau, et le vent soufflant avec assez de violence pour exciter de petites vagues, en faisait paraître la surface toute illuminée : depuis le 13, ces effets diminuèrent jusqu'au 16, époque à laquelle le phénomène cessa pour reparaître de nouveau quelques jours après et se prolonger en diminuant graduellement jusqu'à la fin du mois. Dans un moment où la lumière était dans sa plus grande splendeur, l'auteur fit puiser de l'eau à une grande distance du rivage et en remplit plusieurs vases qu'il fit porter dans une chambre obscure ; l'eau en repos ne donna aucun signe de phosphorescence. En soufflant légèrement sur la surface, il vit de petits corpuscules se détacher des parois du vase et traverser le liquide dans tous les sens; plus il soufflait, plus il en voyait, et en l'agitant violemment avec une baguette, elle parut toute illuminée. En filtrant cette eau avec du papier-joseph, le filtre retint les atomes lumineux, et l'eau filtrée perdit totalement la propriété phosphorescente. Ce filtre étant posé sur un plateau de verre, au foyer d'un microscope, il aperçut une multitude de globules transparens, comme visqueux, qui se mouvaient très-distinctement dans la petite portion de liquide dont ils étaient environnés : chaque globule était marqué à son sommet d'une tache ronde et jaunâtre qu'il présuma être le point phosphorescent. Quoique le grossissement du miscroscope fut de 100, ces animaux n'excédaient pas la grosseur d'une tête d'épingle ; la queue paraissait environ d'un quart de ligne. M. *Artaud* obtint d'autres résultats qu'on pourra lire dans l'ouvrage cité. M. *Balard*, pharmacien de Montpellier, vient de découvrir dans l'eau de mer, une substance qui, dans ses propriétés chimiques, présente la plus grande analogie avec le *chlore* et *l'iode*. Les détails de cette importante découverte, sont consignés dans un mémoire lu à l'académie des sciences de Paris, le 3 juillet 1826; il lui a donné le nom de *Muride* (*Muria, Saumure.*)

17.° *Sur les secousses atmosphériques.*

L'élévation de la colonne barométrique (*) annonce, généralement

---

(*) Au niveau de l'Océan, la hauteur moyenne du baromètre est de $0^m,7629$ = 28 pouces 2 lig. $\frac{7}{10}$, la température étant à 12°,8 du thermomètre centigrade.

parlant, un ciel serein, et l'abaissement un temps pluvieux. M. *Biot* explique cette relation remarquable entre l'état du ciel et le poids de l'atmosphère, en observant que lorsque la pression augmente, la densité de l'air où se trouvent les nuages, augmente aussi, et par conséquent ces nuages s'élèvent jusqu'à ce qu'ils rencontrent un air de même densité qu'eux : or, les nuages se trouvant ainsi dans une région sèche, passent de l'état de vapeur vésiculaire, à celui de vapeur transparente. Au contraire, si la pression diminue, les nuages descendent dans une région plus humide, et se réduisent en pluie. Presque toujours, dit le même physicien, le baromètre descend rapidement avant les tempêtes, et il éprouve de grandes oscillations en quelques heures, quand elles ont lieu, ce qui en fait un instrument très-utile à la mer pour les navigateurs instruits. M. *Meloni*, combat l'explication de M. *Biot*, et en donne une autre (Giorn. di. Fisic. chim. etc., mai et juin 1824, p. 170). Selon lui, si l'air étant tranquille et en équilibre autour de la terre, une colonne atmosphérique vient à augmenter de poids, il y aura des écoulemens d'air de tous les points de cette colonne, qui formeront dans toutes les directions, des vents qui chasseront les nuages, en sorte que le ciel deviendra serein, en même-temps que la colonne barométrique s'élevera. Si, au contraire, la colonne diminue de poids, l'air environnant affluera vers sa base et y portera les nuages flottans dans l'atmosphère, et, dans le cas où il n'y en aurait pas, la rencontre des vents opposés en fera naître. Il s'opère dans la hauteur de la colonne barométrique, des variations subites, qu'on nomme *secousses atmosphériques* dues à quelque cause jusqu'à présent inconnue, qui agit avec une extrême rapidité et presque simultanément sur une vaste étendue, tant horizontale que verticale: car on a remarqué que, dans la colonne verticale de plus de 1000 toises, qui sépare le Mont St.-Bernard de Genève, toutes les grandes secousses barométriques sont, à-peu-près, simultanées. On ne peut expliquer cette secousse ou cet abaissement du mercure, par un vent même très-violent : car il y a eu à-peu-près $1^h\ 23'$ d'intervalle entre les époques du maximum d'abaissement du mercure à Genève et à Alais ; or, un vent violent de 50 pieds par seconde, ne parcourt qu'environ 12 lieues par heure, ou 16 lieues $\frac{6}{10}$ dans $1^h\ 23'$, et il y a 65 lieues à vol d'oiseau entre ces deux villes. Ainsi, dit M. *Pictet*, la simultanéité des ces secousses atmosphériques dans des régions fort

distantes, est l'un des faits les plus singuliers que présente la météorologie et l'un des plus difficiles à expliquer.

Dans un écrit ayant pour titre : *De repentinis variationibus in pressione atmosphæræ observatis, in-4.º de 66 pag. Leipzig*, 1826, l'auteur, M. *Brandes*, après avoir parlé des difficultés de l'étude de la météorologie et des moyens de l'avancer, donne la préférence à l'observation simultanée en divers lieux, d'un même phénomène remarquable, (comme on le fait pour les étoiles filantes), et spécialement des variations survenues dans la hauteur barométrique. Déjà, comme *specimen* de cette méthode, il a publié en allemand, la discussion de l'état de l'atmosphère dans toute l'Europe, pendant le cours de 1783, si remarquable par le tremblement de terre de Messine, accompagné d'une foule de phénomènes météorologiques. M. *Brandes* s'est proposé d'analyser toutes les circonstances du grand ouragan, arrivé le 25 décembre 1821, et qui, en certains lieux, a fait descendre de 22 lignes, la hauteur barométrique. Quatre tableaux offrent l'abaissement du baromètre au-dessous de la hauteur moyenne dans les lieux d'observation, à quatre heures différentes. De cet ensemble de résultats, l'auteur tire des conclusions dont nous ne rapporterons que la substance : 1º Une cause inconnue, a opéré sur l'Océan Atlantique, près des côtes de Bretagne, le 24 décembre, une soustraction dans la masse de l'atmosphère et une diminution de pression : la même cause agissait à cette époque à travers la Manche et la mer d'Allemagne jusque sur les côtes de Norwège, mais avec une intensité beaucoup moindre : en sorte que l'abaissement allait croissant de la côte N. O. de France dans l'intérieur, et décroissant de l'intérieur de l'Allemagne vers la mer : l'interposition des Alpes dérangeait la loi de continuité. A l'époque de la seconde table, le centre de moindre pression était entre Londres et Dieppe; les courbes d'égale pression passaient de la forme elliptique à la forme circulaire. A l'époque de la troisième table, le centre était dans la mer d'Allemagne. Enfin à l'époque de la quatrième, le centre de moindre pression allait s'avançant près des côtes de la Norwège. Dans les phénomènes des 2 et 3 février 1823, la loi des variations de pression, est moins simple, et outre les perturbations locales, on est conduit à supposer deux centres de moindre pression, qui partant comme précédemment des côtes de Bretagne, auraient été portés par les eaux de la mer, l'un dans la Manche, l'autre dans

le golfe de Gascogne. Des tempêtes auraient été ressenties à Lisbonne, et à Constantinople, à-peu-près lorsque les centres de pression passaient à leurs méridiens. L'auteur cite encore d'autres faits et il établit sans piene que les changemens brusques de pression, sont liées avec d'autres grandes variations de l'atmosphère.

Le professeur *Meinecke*, dans un *Mémoire lu à la société naturelle de Halle*, prouve de plusieurs manières l'existence d'une atmosphère terrestre inférieure : il se croit fondé par les raisons qu'il allègue, à conclure avec certitude que l'atmosphère qui peut pénétrer à 20 milles géographiques de profondeur dans l'intérieur de la terre, est déjà comprimée à une moindre profondeur, au point que, sans être liquide, elle forme un fluide équivalent à l'eau, pour la densité. De là il résulte pour l'atmosphère terrestre inférieure à la surface, une masse en comparaison de laquelle celle de l'atmosphère supérieure paraît fort petite. C'est à cette masse d'air inférieur contenu dans les cavités, dans les abîmes, dans les pores des fossiles etc., que ce professeur attribue la plupart des météores, tandis que cet amas insignifiant d'air, que nous nommons atmosphère, n'y contribue tout au plus que pour une faible part. Comme il attribue les phénomènes barométriques à l'atmosphère inférieure, il semble qu'il pourrait aussi bien lui faire cadeau de quelques autres rôles qui, jusqu'ici, étaient dévolus à l'atmosphère supérieure.

Parmi les nombreux ouvrages sur la météorologie, publiés et annoncés dans ces derniers temps, nous citerons celui de M. *J. Jacob Berzelius*, dont le nom fait autorité dans les sciences : il a pour titre : *Traité Élémentaire de Chimie :* le premier volume de cette deuxième édition, traduite du suédois en allemand (édit. de Dresde, 1823 et 1824, Arnold), contient 1.° à l'article atmosphère : *composition et propriétés physiques de l'air. — Vents réguliers et irréguliers. — Météores et boules de feu. — Pierres météoriques. — Aurores boréales etc.* — 2.° à l'article eau : *De l'évaporation. — De la vaporisation. — Humidité atmosphérique. — Hygrométrie. — Météores aqueux. — Nuages et pluies. — Rapports de la marche du baromètre avec les variations de température. — Théories de la neige, de la grêle, des brouil-*

lards, de la rosée etc. — *Des sources, différentes variétes de sources etc.* Cet ouvrage est sans préface, ni introduction et jusqu'à présent sans table : c'est une riche collection de faits et de théories rangés sans beaucoup d'ordre, sous différens titres. — *Sur quelques phénomènes relatifs à la formation de la rosée sur les surfaces métalliques*, on pourra consulter un écrit de M. *G. Harvey*, (Biblioth. Univ. mai et juin 1824). Nous ne pouvons nous dispenser de recommander la lecture du Mémoire couronné par M. *A. Moreau de Jonnes*, en réponse à la question proposée par l'Académie Royale de Bruxelles : *quels sont les changemens que peut occasionner le déboisement des forêts considérables sur les contrées et communes adjacentes, relativement à la température et à la salubrité de l'air, à la direction et à la violence des vents dominans, à l'abondance et à la qualité des pluies d'où dérivent les sources et les eaux courantes, et, en général, à tout ce qui constitue son état physique actuel* (nouv. Mém. de l'Acad. Royale des sciences et lettres de Bruxelles Tom. V). Nous essayerons de donner une idée de cet intéressant travail. Trente mille observations météorologiques, dont la plupart appartiennent à l'auteur et ont été recueillies en divers climats, font connaître l'action des causes qui font varier la température, la durée de ses phases et leur époque. Après avoir soigneusement discuté l'influence des forêts sur la température, l'auteur est amené à une suite de conclusions dont nous nous bornerons à rapporter les suivantes : les forêts exercent une influence puissante sur la chaleur atmosphérique ; cette influence est analogue à celle produite par la position géographique et la présence des eaux : ses effets, comme ceux de l'élévation des latitudes et de la proximité des mers, sont un abaissement de la température. Il examine, en second lieu, l'influence des forêts sur la fréquence et la quantité des pluies : les pluies, dit-il, ont pour condition d'existence, les causes de l'évaporation des eaux du globe et celles de la condensation des vapeurs atmosphériques : les premières se composent de tout ce qui élève la température, et les secondes de tout ce qui l'abaisse temporairement ou localement. La quantité de pluie annuelle varie par l'influence de la position géographique des contrées, de la présence des eaux pélagiques et pluviales, des vents, des montagnes et ensuite des forêts : toutes ces causes sont appréciées, et il résulte de cette discussion que la quantité annuelle des pluies, s'accroît comme les

températures, à mesure qu'on se rapproche de l'équateur, et qu'elle diminue en raison de la proximité des pôles; que la présence des eaux pélagiques ou pluviales, est celle des causes qui agit le plus puissamment: que celle des vents agit suivant la nature des régions qu'ils ont traversées; que pour accroître, à volonté, les pluies qui arrosent un pays, il suffit de couvrir de plantations d'arbres ses collines et ses hautes montagnes, et de les déboiser pour diminuer proportionnellement la quantité des eaux pluviales. Il examine, en troisième lieu, l'influence des forêts sur l'humidité atmosphérique dont les causes résident comme celles des pluies dans l'évaporation pélagique et pluviale, dans sa translation par les vents et dans l'action des forêts et des montagnes qui la rendent stationnaire. Les effets de l'humidité agissent dans leur maximum, d'une manière délétère sur l'homme, tandis qu'ils favorissent l'accroissement des végétaux et la multiplication des insectes : dans son minimum, elle est contraire à l'homme par son action nuisible sur les végétaux. L'évaporation des forêts est après celle des eaux, la cause la plus puissante de l'humidité atmosphérique, qui détermine l'abaissement local de la température. Vient ensuite la question de l'influence des forêts sur les sources et les eaux pluviales, à la suite de laquelle il traite de l'influence des forêts sur les vents et sur la salubrité de l'air, sur la fertilité du sol et sur l'état social des peuples. Ce mémoire est terminé par l'énoncé des vingt résultats généraux tirés de l'ensemble des faits, des calculs, des expériences et des observations, présentés dans les six chapitres dont il se compose. Le *Bulletin universel* des sciences *Mathématiques, Physiques et Chimiques*, publié sous la direction de M. le baron *de Férussac*, nous a fourni d'excellens documens. Nous nous bornerons ici à ces seules citations, nous réservant de donner par la suite une notice plus étendue des ouvrages et mémoires à consulter sur la météorologie.

FIN.

TABLE

DES MATIÈRES.

A

B

C

D

E

G

H

I

L

M

67.

N

O

P

Q

R

S

T

V

Supplément à la Physique de Fischer.

Des Météores.

FIN DE LA TABLE.

FAUTES A CORRIGER ET OBSERVATIONS.

Pag. *lig.*

12, 9, en remont., *negliser,* lisez : *négliger.*

31, 7, en remont., note, *est renconteé,* lisez : *est rencontré.*

82, 15, $\frac{1}{5412}$ *du volume,* lisez : $\frac{1}{541,2}$ *du volume.*

110, 3, en remont., note, *en sort que l'eau,* lisez: *en sorte que l'eau.*

128, 8, en remont., note, *Klaporth,* lisez : *Kloproth.*

Sur la page 136, ajoutez aux citations qui terminent l'addition : On peut encore consulter sur la théorie mathématique de l'action capillaire, la thèse de feu M. *Petit,* professeur de physique, soutenue en 1811, devant la Faculté des sciences de Paris, et le travail de M. *Girard,* indiqué pag. 147, note.

159, 9, *l'air inmobile,* lisez : *l'air immobile.*

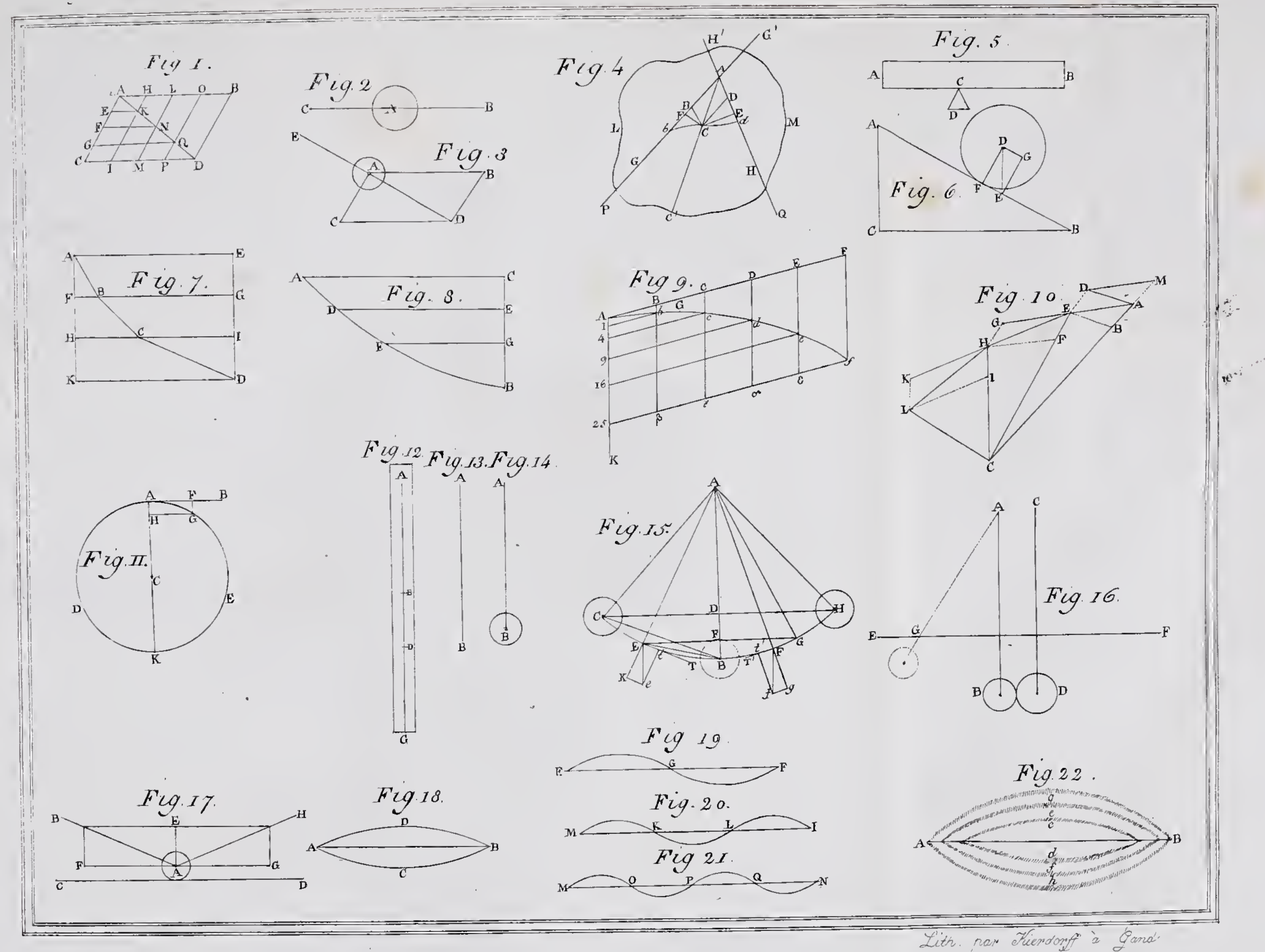
160, 9, *le circonstances,* lisez : *les circonstances.*

161, 1, du litre *évaluée en millim.*, lisez : *évaluées en millim.*

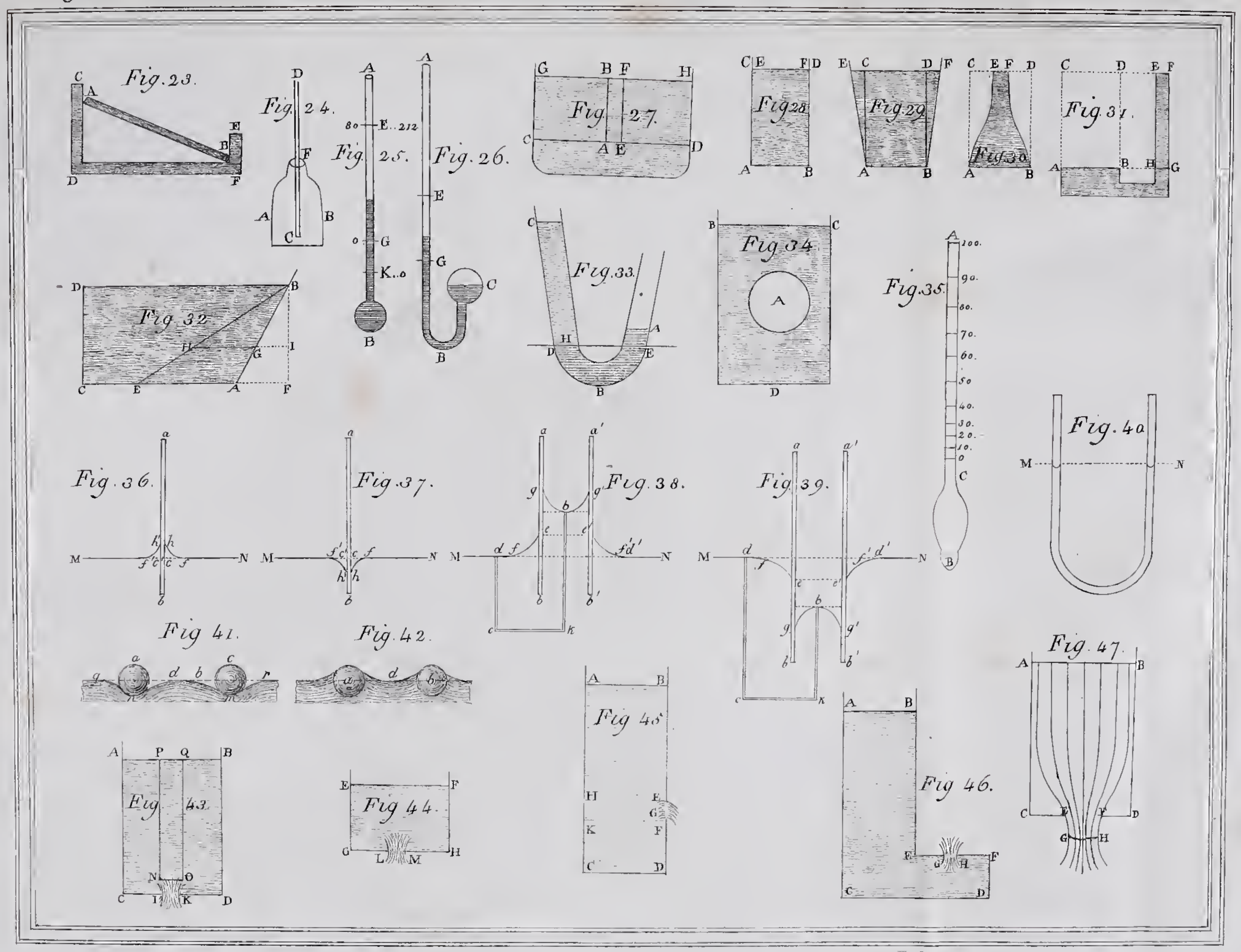
169, Des deux figures numérotées 47, celle qui se rapporte à la page 142, est au bas de la planche II, et celle qui se rapporte à la page 169, se trouve planche III.

Nota, les *fig.* (*a*) et (*b*), plan VI, se rapportent à l'addition pag. 459, — 361; d'après les explications données dans cette addition, il sera facile de se rendre raison de ces figures. Les lecteurs qui voudront plus de détails sur ce sujet intéressant, feront bien de consulter le Tom. XVII, des Ann. de Nîmes, N.° I, juillet 1826 et un Mémoire de M. *Thomas de S.t-Laurent,* ayant pour titre : *Recherches sur la caustique de réflexion dans le cercle :* ils pourront ne lire que les énoncés, en italique, des propriétés démontrées par l'auteur.

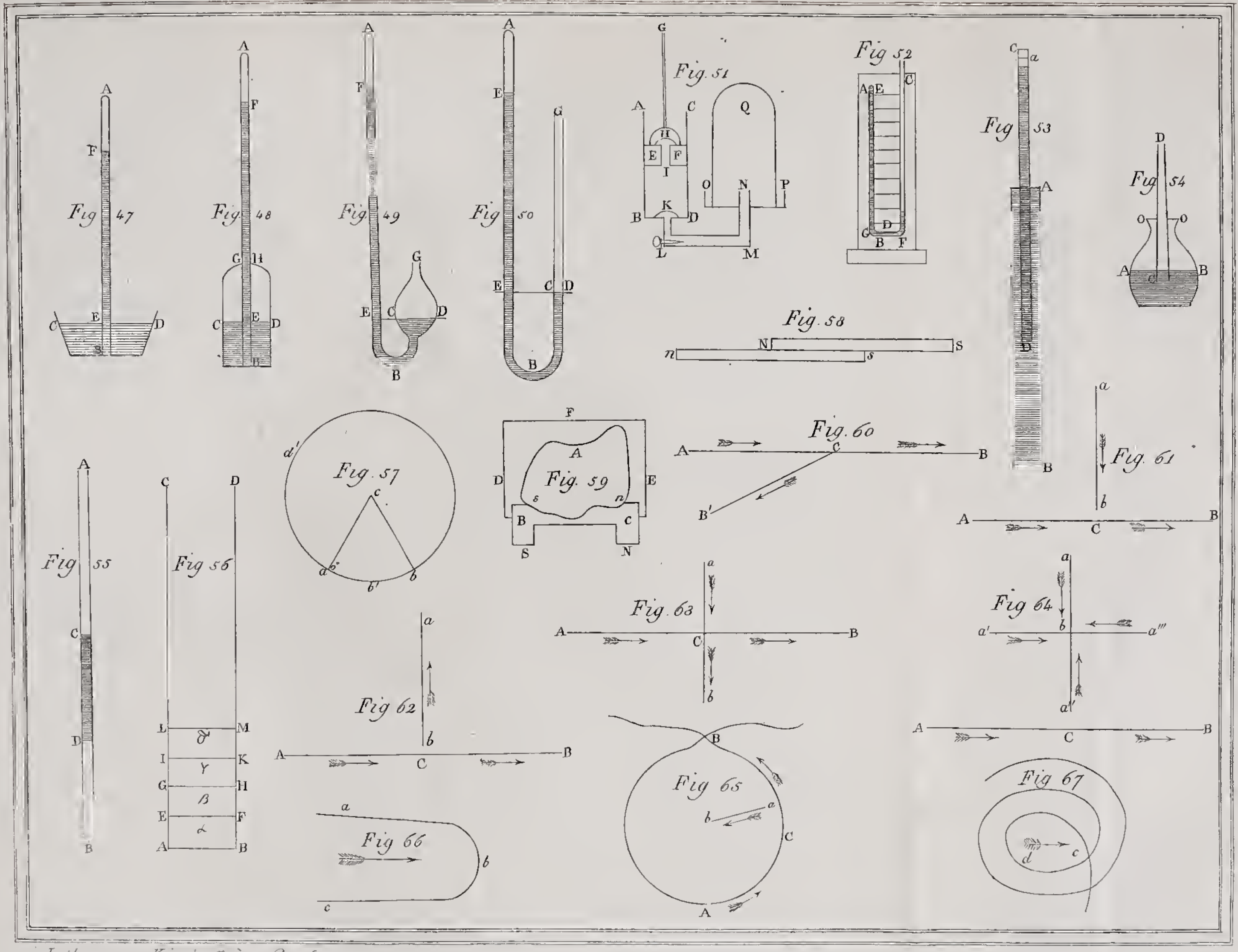
381, 6, *du verre mais : maintenant*, lisez : *du verre : mais maintenant.*



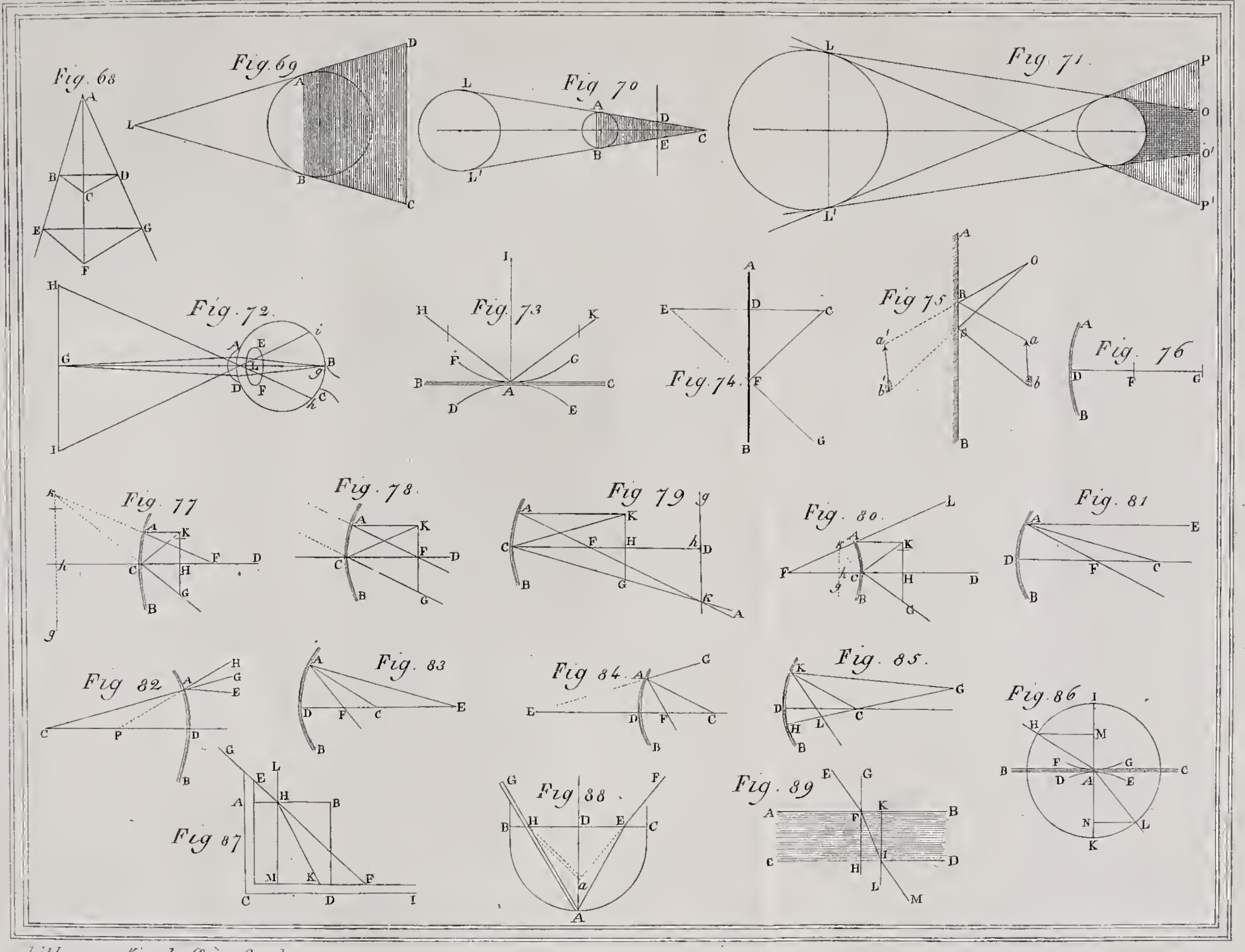
Lith. par Kierdorff à Gand.



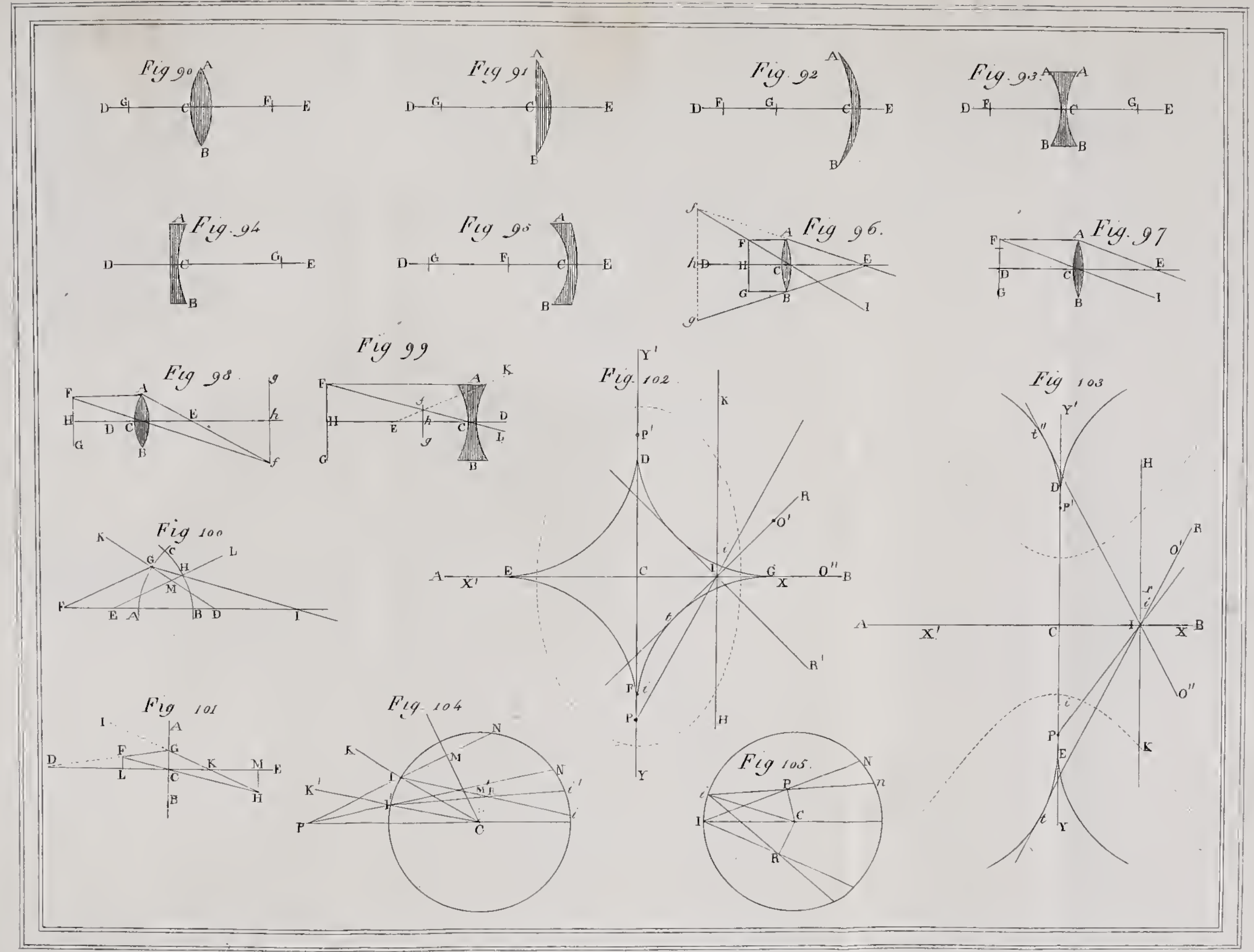
Lith par Kierdorff à Gand.



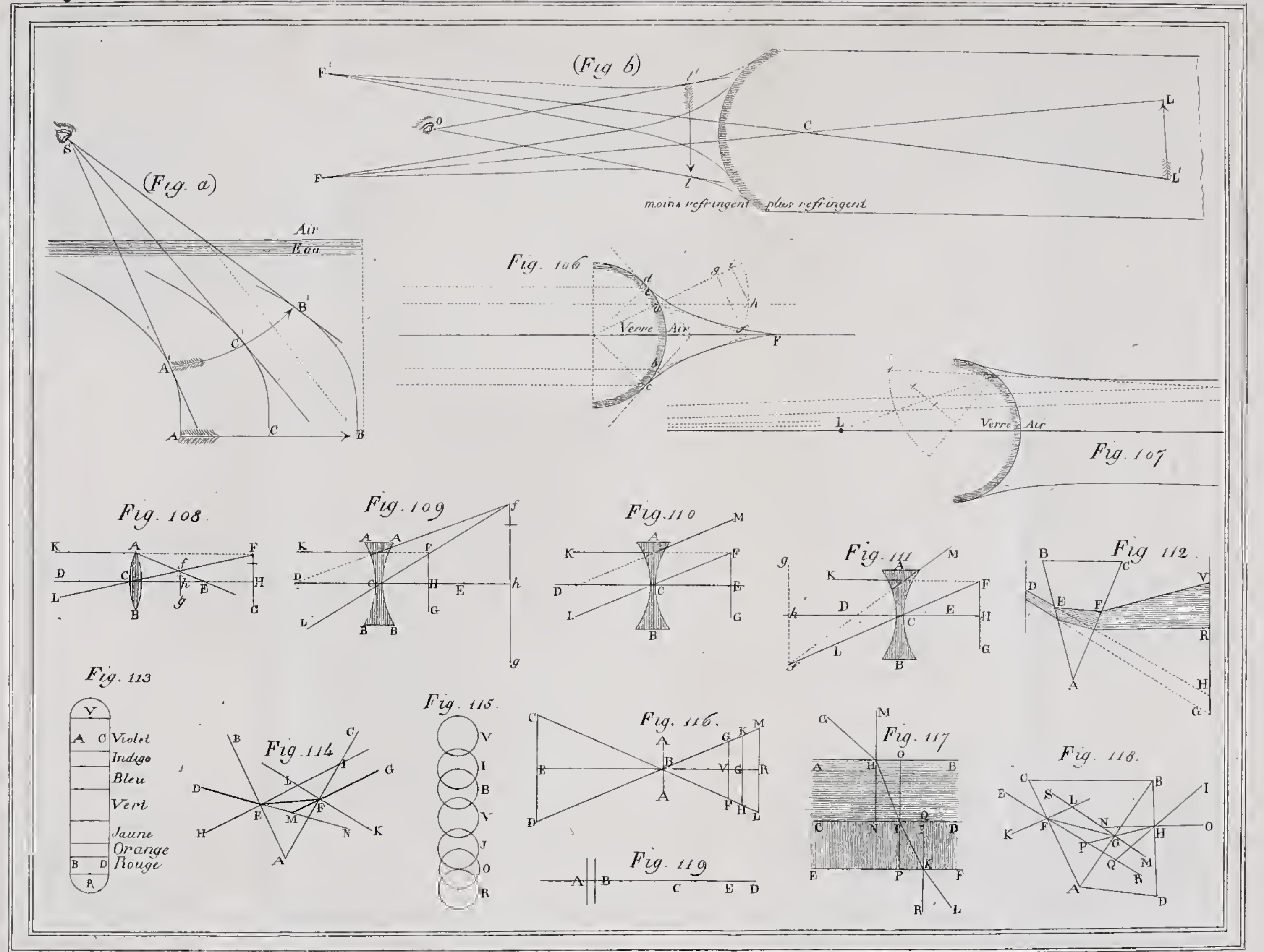
Lith. par Kierdorff à Gand



Lith par Kierdorff à Gand.

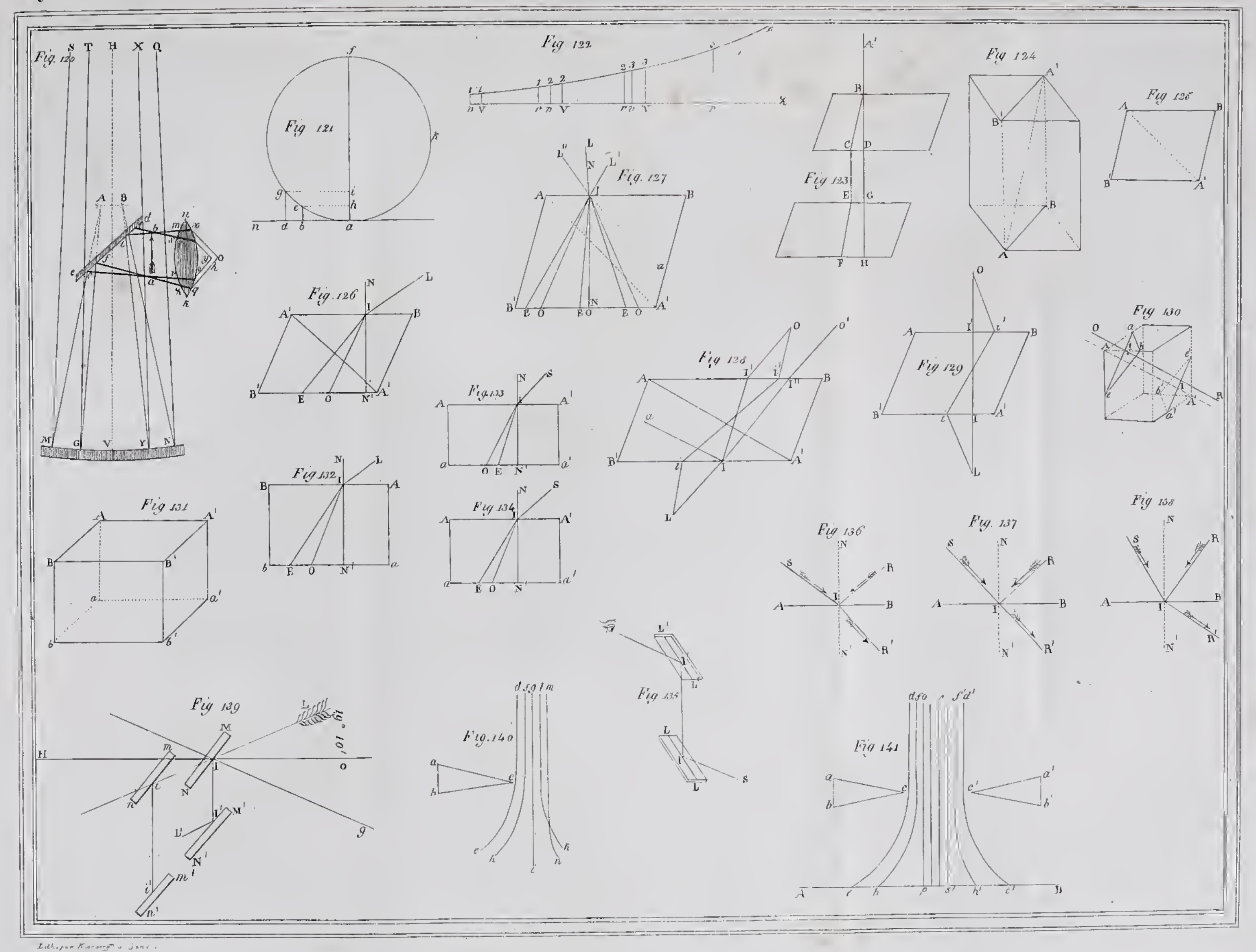


Lith. par Kierdorff à Gand



Lith. par Kierdorff à Gand.




Fig. 120
Fig 121
Fig 122
Fig 123
Fig 124
Fig 125
Fig. 126
Fig. 127
Fig 128
Fig 129
Fig 130
Fig 131
Fig 132
Fig. 133
Fig. 134
Fig 135
Fig 136
Fig. 137
Fig 138
Fig 139
19° 10'
Fig. 140
Fig 141

